

Школа **Инженерная школа новых производственных технологий**
 Направление подготовки **18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, профиль Машины и аппараты химических производств**
 Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проект аппарата для получения суспензий методом электрического взрыва проводников

УДК 669.21/.23.05.001.66:537.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4K51	Барышников Арсений Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ан В.В.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Механический расчет оборудования»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н., доцент		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Криницына З.В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Л.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н., доцент		

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись)

(Дата)

Беляев В.М.
(Ф.И.О.)

Время одного рабочего цикла: 40 мин

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Реферат; Введение; Технологическая схема; 1. Технологический расчет; 2. Механический расчет; 3. Социальная ответственность; 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; Заключение; Список литературы.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 – Общий вид аппарата получения суспензии А0 Лист 2 – Общий вид аппарата получения суспензии А0 Лист 3 – Сборочный чертеж А0 Лист 4 – Механизм подачи проволоки А0 Лист 5 – Опора А2 Лист 6 – Технологическая схема А2 Лист 7 – Экономические показатели А2</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Механический расчет оборудования</p>	<p>Беляев Василий Михайлович</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Криницына Зоя Васильевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Скачкова Лариса Александровна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ан Владимир Вилорьевич	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4К51	Барышников Арсений Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4К51	Барышникову Арсению Александровичу

Школа	ИШНПТ	Отделение(НОЦ)	Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	18.03.02. Энерго - и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Тема ВКР:

Проект аппарата для получения суспензий методом электрического взрыва проводников	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	В работе рассматривается проект аппарата для получения суспензий методом электрического взрыва проводников и использования в лабораторных условиях.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1.Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: -специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; -организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс РФ; – ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний»; – ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»; – ФЗ «О радиационной безопасности населения»; – СанПиН 2.2.4.3359-16;
2.Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных	<ul style="list-style-type: none"> – Превышение уровня шума; – Отклонение показателей микроклимата; – Повышенное значение напряжения в электрической цепи; замыкание которой может произойти через тело человека.

и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	
3. Экологическая безопасность: - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу(отходы)	- Вредное воздействие осуществляется сбросом отработанной воды в гидросферу, без необходимого процесса рекуперации жидкости; - На атмосферу и литосферу вредного влияния не оказывается.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	- Пожароопасная ситуации; - Поражения рабочего персонала электрическим током.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4K51	Барышников Арсений Александрович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4K51	Барышникову Арсению Александровичу

Школа	ИШНПТ	Отделение(НОЦ)	Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	18.03.02. Энерго - и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование, опрос
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Расчет бюджета затрат на НИТ, расчет проектируемого аппарата.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Криницына Зоя Васильевна	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4K51	Барышников Арсений Александрович		

Запланированные результаты обучения по ООП 18.03.02 выпуска 2019 г.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОПК-1,2,3; ПК-8,10,11,12; ОК-1,2,3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ОПК-1,2; ПК-1,3,,9; ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ОПК-2; ПК-2,4,5,16; ОК-5,7), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ОПК – 1; ПК-2,4,5,8,17,18; ОК-3,4), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ОПК -2,3; ПК-13,14,15; ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ОПК – 3; ПК-1,4,6,7,9,10,11; ОК-9), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,6), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (2.6)
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5) , Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-4,6,8) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

Реферат

Дипломный проект состоит из пояснительной записки (111 страниц печатного текста, 27 рисунков, 18 таблиц, 42 использованных источников) и 7 листов графического материала (A0 и A2).

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВЗРЫВ ПРОВОДНИКОВ, ВЗРЫВНАЯ ВОЛНА, НАНОПОРОШОК, ПРОЧНОСТЬ, УСТОЙЧИВОСТЬ.

В работе представлен проект аппарата для получения суспензий методом электрического взрыва проводников в жидкой среде, а также в проекте были произведены: технологический расчет аппарата, расчет опорной обечайки на прочность и устойчивость, укрепление отверстий патрубков, расчет фланцевых соединений, расчет толщины перегородок из органического стекла.

В разделе “Социальная ответственность” рассматриваются мероприятия по безопасному проведению технологического процесса.

В разделе “Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение” описываются план работ, металлоёмкость аппарата и ресурсоэффективность самого проекта.

Abstract

The diploma projects consists of an engineering analysis notes (111 sheets of typed text, 27 pictures, 18 tables, 42 sources) and 7 sheets of drawings (A0 and A2).

ELECTRICAL EXPLOSION OF WIRES, BLAST WAVE, NANOPOWDER, STRENGTH, STABILITY.

This work represents the project of the apparatus for fabrication of suspensions by electrical explosion of wires in the liquid, as well as the design process, the design of vessel shell, the strengthening of orifice, the design of flanges coupling, the thickness of plexiglas baffles design are made.

Arrangements for the safety realization of the technical process are written in section “The social accountability”.

The plans of works, the metal consumption of apparatus and the resource efficiency of the project are described in section “The financial management, resource efficiency and resource saving”.

Оглавление

Введение	1
Обзор литературы.....	2
Технологическая схема	7
1 Технологический расчет	8
1.1 Материальный баланс	8
1.2 Тепловой расчет.....	9
1.3 Импульсное давление взрывной волны.....	11
1.4 Импульсное давление взрывной волны реакции.....	12
1.5 Гидравлический расчет	14
1.5.1 Подбор редуктора	14
1.5.2 Подбор вакуумного насоса для аппарата	15
1.5.3 Подбор насоса для подачи воды	16
1.6 Расчет диаметров патрубков	18
1.6.1 Расчет диаметров патрубков для жидкости	18
1.6.2 Расчет диаметров патрубков для газа.....	19
Вывод.....	19
2 Механический расчет	20
2.1 Выбор конструкционного материала	20
2.2 Расчетная модель.....	20
2.3 Расчет толщины цилиндрической обечайки (позиция 2)	22
2.3.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении	24
2.3.2 Расчет осевого растягивающего усилия при рабочих условиях и условиях испытания.....	25
2.3.3. Расчет цилиндрической обечайки при наружном давлении	30
2.4 Расчет толщины цилиндрической обечайки (позиция 3)	32

2.4.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении	34
2.4.2 Расчет осевого растягивающего усилия при рабочих условиях и условиях испытания.....	35
2.4.3 Расчет цилиндрической обечайки при наружном давлении	36
2.4.4 Расчет цилиндрической обечайки при гидроиспытаниях	40
2.5 Расчет толщины цилиндрической обечайки (позиция 4)	41
2.5.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении	43
2.5.2 Расчет осевого растягивающего усилия при рабочих условиях и условиях испытания.....	44
2.5.3 Расчет цилиндрической обечайки при наружном давлении	45
2.5.4 Расчет цилиндрической обечайки при гидроиспытаниях	49
2.6 Расчет толщины цилиндрической обечайки (позиция 5)	50
2.6.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении	52
2.6.2 Расчет осевого растягивающего усилия при рабочих условиях и условиях испытания.....	54
2.7 Расчет толщины стенки эллиптического днища (позиция 1).....	55
2.7.1 Расчет толщины стенки эллиптического днища при наружном давлении.....	55
2.7.2 Расчет толщины стенки эллиптического днища при внутреннем давлении	56
2.8 Расчет перегородок из органического стекла (позиция 7)	57
2.9 Расчет перегородок из органического стекла для смотрового окна (позиция 8).....	59
2.10 Расчет плоской крышки смотрового окна (позиция 9).....	61
2.11 Расчет патрубков	63
2.11.1 Расчет толщины стенки патрубка для газа	64
2.11.2 Расчет толщины стенки патрубка для воды.....	64
2.11.3 Укрепление отверстий	65
2.12 Расчет патрубка для окна (позиция Д)	66

2.12.1 Расчет толщины стенки патрубка для окна	67
2.12.2 Укрепление отверстий	67
2.13 Расчет фланцевого соединения (позиция А).....	68
2.13.1 Основные расчетные значения.....	70
2.13.2 Усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения	72
2.13.3 Усилия в шпильках фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях.....	72
2.13.4 Податливость прокладки и шпилек	73
2.13.5 Расчетные параметры и угловая податливость фланцев	73
2.13.6 Плечи действия сил и коэффициенты жесткости.....	74
2.13.7 Проверка прочности шпилек и прокладки.....	76
2.13.8 Расчет фланцев на статическую прочность	76
2.13.9 Расчетные напряжения во фланце при затяжке.....	76
2.13.10 Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях	77
2.13.11 Проверка условий статической прочности фланцев.....	78
2.13.12 Проверка углов поворота фланцев.....	80
2.13.13 Расчет элементов фланцевого соединения на малоцикловую усталость.....	80
2.14 Расчет массы аппарата. Подбор опор (позиция 6)	81
3 Социальная ответственность	84
Введение	84
3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	84
3.2 Производственная безопасность	85
3.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	86
3.3.1 Состояние воздушной среды и микроклимата	86
3.3.2 Шумы и вибрации	86
3.3.3 Электробезопасность	87
3.4 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных вредных факторов	87

3.5 Экологическая безопасность	88
3.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	88
3.7 Пожарная безопасность	89
3.8 Первичные средства пожаротушения, немеханизированный пожарный инструмент и инвентарь.....	90
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	91
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	91
4.2 SWOT-анализ	91
4.3 Планирование научно-исследовательских работ. Структура работ в рамках научного исследования	94
4.4 Определение трудоемкости выполнения работ.....	94
4.5 Разработка графика проведения научного исследования.....	95
4.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	96
4.7 Расчет материальных затрат НТИ.....	96
4.8 Основная заработная плата исполнителей темы	97
4.9 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	100
4.10 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	101
4.11 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	101
4.12 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	102
Вывод.....	106
Заключение.....	107
Список литературы.....	108

Введение

Электрическим взрывом проводников (ЭВП) называют явление взрывообразного разрушения металлического проводника при прохождении через него импульса тока очень большой плотности. Одно из применений ЭВП - синтез порошков, состоящих из наноразмерных частиц, которые образуются при конденсации продуктов взрыва. Особый интерес к данным порошкам связан с их применением в качестве исходного сырья при производстве керамических, магнитных и композиционных материалов, сверхпроводников, солнечных батарей, фильтров, присадок к смазочным материалам, компонентов низкотемпературных высокопрочных припоев и др. Существенно расширяется использование нанопорошков в промышленности (технологии диффузионной сварки, создание защитных и антифрикционных покрытий, восстановление изношенных деталей механизмов). Электротехника и обрабатывающая промышленность потребляют более 70% мирового производства нанопорошков.

Порошки можно получать в газе и в жидкости. Интерес к ЭВП в жидкости связан с возможностью получения материалов с новыми свойствами в том числе: волокон оксида алюминия в одну стадию, а также получением карбидов для изготовления компактных материалов при существенно низких температурах. Однако аппараты для получения нанопорошков методом ЭВП в жидких средах – это лабораторные установки малой производительностью.

Цель работы - проект аппарата, обеспечивающего производительность по получению порошка методом ЭВП в жидких средах не менее 15 г/мин и работающего в условно непрерывном режиме.

Обзор литературы

Нанодисперсные порошки (НП) можно получать химическими, физическими и смешанными – физико-химическими методами. К первому типу относятся: химическое осаждение из паровой фазы, высокоэнергетический синтез, осаждение из растворов, разложение нестабильных соединений и другие. Второй тип включает в себя: механическое измельчение, распыление расплава и физическое осаждение из паровой фазы. В третьем рассматривается такой способ как плазмохимический метод.

Электрический взрыв проводника относится к физическим методам получения порошка, который чаще всего проводится в газовой среде. Сутью метода является разрушение отрезка металлического проводника импульсом тока большой плотности [1]. Процесс сопровождается яркой вспышкой света, резким звуком и ударной волной, распространяющейся в окружающей проводник среде. Под действием импульса тока проводник разрушается на мелкие частицы металла и пар. Эти продукты разрушения разлетаются с большой скоростью, в результате чего быстро охлаждаются с образованием частиц размером от нескольких нанометров до нескольких микрон.

Схема установки для получения металлических порошков в газовой среде представлена на рисунке 1.

					ФЮРА ПАПС 000000 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Выполнил		Барышников А.А.			Обзор литературы		
Руковод.		Ан В.В.					
Конс.		Ан В.В.					
Н. Контр.							
Руков. ООП		Беляев В.М.					
					Лит.	Лист	Листов
						2	5
					ТПУ ИШНПТ		
					НОЦ Н.М. Кижнера		
					Группа 4К51		

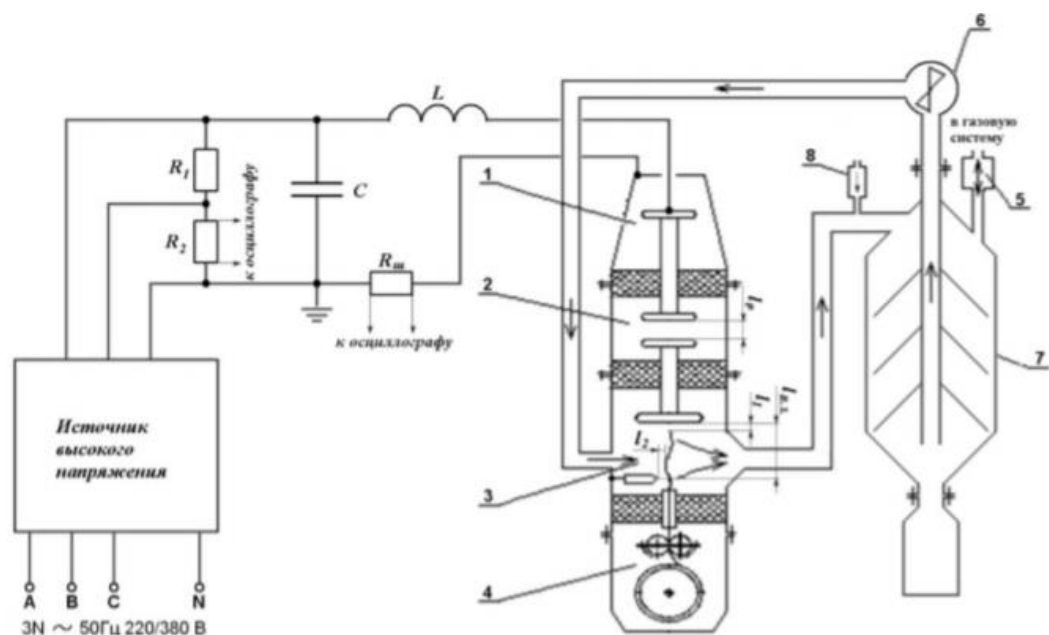


Рисунок 1 - Схема установки по производству нанопорошков в газовой среде: 1 – высоковольтный ввод, 2 – коммутатор, 3 – реактор, 4 – устройство подачи проволоки, 5 – фильтр напуска и забора газа, 6 – вентилятор, 7 – устройство улавливания порошка, 8 – ротаметр [2].

Процесс ЭВП происходит следующим образом. Источник энергии заряжает емкостной накопитель энергии C до напряжения U_0 и с помощью разрядника P коммутируется на взрываемый проводник. Поглощая энергию, проводник нагревается, плавится, нагревается в жидком состоянии и взрывается. Продуктами взрыва служат пары и капли металла, которые в последствии кристаллизуются в частицы микронного и нанометрового размеров.

Важной задачей данной технологии, является задача нахождения таких условий получения НП, которые будут обеспечивать с одной стороны высокую дисперсность, а с другой стороны, узкое распределение частиц по размерам. Влияние на свойства получаемых порошков осуществляется через изменение начальных условий взрыва – емкости и напряжения заряда конденсатора, длины и диаметра взрываемого проводника и посредством изменения состава и давления газа, в котором осуществляется ЭВП.

На данный момент электрический взрыв проводников осуществляется не только в газовой среде, но и в жидкой, сопровождаясь аналогичными процессами. Проводник также проходит несколько состояний при взрыве, как и в газовой среде. Электрический взрыв в жидкости сопровождается многими сложными процессами: формирование высокотемпературной плотной плазмы, образование сильной ударной волны, связанной плазмы и так далее.

В зависимости от химического состава жидкости можно получить:

- чистые металлы (электрический взрыв драгоценных металлов);
- оксиды (ЭВП в воде),
- карбиды (ЭВП в углеродосодержащих жидкостях).

Данный метод имеет несколько существенных преимуществ по сравнению с ЭВП в газе:

- возможность производства металлического порошка с минимальным количеством оксидов [6];
- сохранять состояние полученного продукта до конечной стадии его применения, не допуская контакта продукта с воздухом;
- увеличение скорости охлаждения продуктов взрыва по сравнению с ЭВП в газе, что приводит к образованию более мелких частиц.

ЭВП в жидких средах нашло особое применение при синтезе карбидов металлов, таких как W_2C , TiC , MoC и так далее. Как показывают опыты [4] целесообразно использовать более плотные конденсированные среды (ацетилен с аргоном), чтобы увеличить выход данных карбидов и получить более насыщенные углеродом фазы. При взрыве же в таких средах концентрация активных реагентов увеличивается, что способствует увеличению выходу химических соединений и изменению фазовых составов [4].

Вторым не менее важным направлением применения продуктов ЭВП в жидких средах является синтез нановолокон оксида алюминия. Для этого ЭВП алюминия осуществляют в воде. Основным продуктом электрического взрыва алюминиевых проводников в воде является $\gamma-Al_2O_3$, при повышении энергии активно происходит образование гидроксида $Al(OH)_3$. Но на сегодняшний момент электрический взрыв проводника в жидкости пользуется популярностью в производстве нановолокнистых $AlOOH$. Данное соединение исследуется как перспективный материал для коммерческих разработок и используется в фильтрации жидкостей, производстве медицинских материалов и так далее [7].

					Обзор литературы	Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

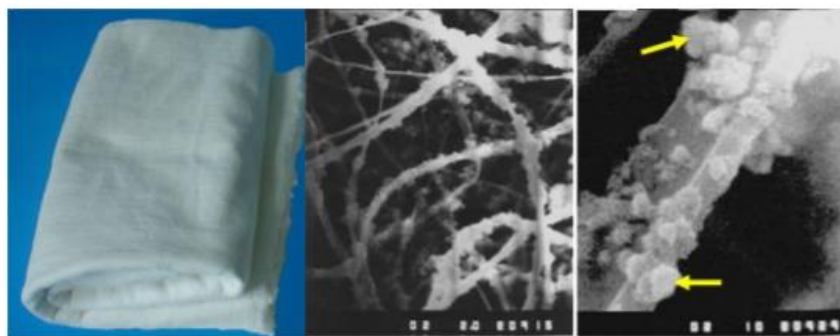


Рисунок 2 – Внешний вид фильтровального материала AquaVallis и его структурное изображение [7]

Особое применение волокна нашли себя в модифицировании полимерных мембран, которые могут быть получены благодаря гидролизу нанопорошка алюминия. Метод описывает процесс модифицирования и синтеза соединения в порах мембран [7].

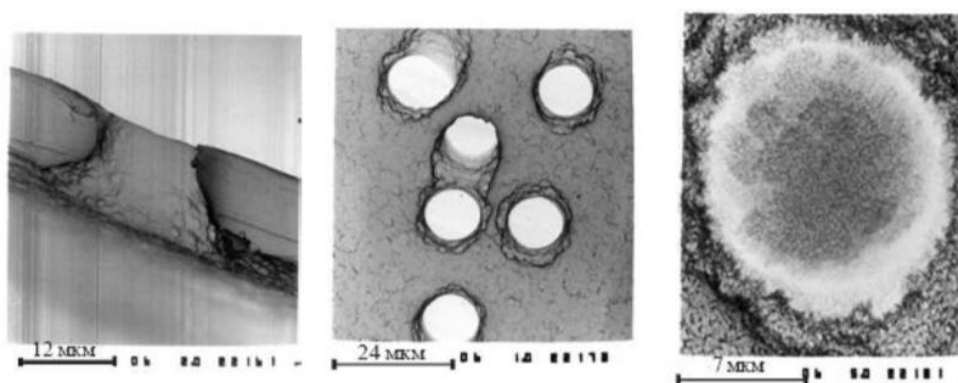


Рисунок 3 – Микрофотографии исходной и модифицированной мембраны [7]

Активные же оксидно-гидроксидные фазы могут использоваться для очистки воды от ионов тяжелых и радиоактивных металлов. В статье [3] продемонстрирована полная очистка от загрязняющих ионов, при вводимом алюминии в растворы хрома и меди составляет 50-150 мг/л.

Второе же перспективное применение ЭВП в воде – получение водорода, который является продуктом реакции взаимодействия частиц алюминия с компонентами окружающей среды. Коэффициент трансформации составил 100 % без специальных добавок [3].

Вышеперечисленные порошки получают на экспериментальных установках по осуществлению ЭВП в жидкой среде. На рисунке 4 представлена экспериментальная схема одной из таких установок.

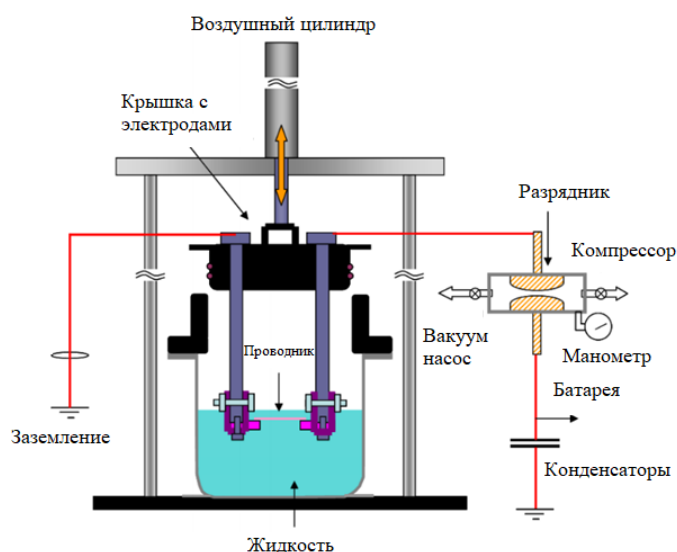


Рисунок 4 – Схема экспериментальной установки электрического взрыва проводника в жидкой среде [3]

Представленная установка работает следующим образом: происходит предварительное закрепление металлической проволоки между электродами. Проводник устанавливается между двумя электродами, в камеру заливается жидкость, оставшееся воздушное пространство вакуумируется. После каждого взрыва происходит замена проводника на новый.

Неудобство такой системы заключается в постоянной замене отрезка проводника в аппарате, которая сопровождается в разборке установки. Конкретный процесс может повлиять на конечный выход продукта и состав полученных порошков.

Цель данного проекта заключается в создании аппарата для получения суспензий, который отличался от аналогов своей простотой эксплуатации и высоким выходом продукта.

Технологическая схема

Объем взрывной камеры заполняется водой с помощью насоса (1) только на 2/3. После этого оставшийся воздух выкачивается с помощью вакуумного насоса (4) из взрывной камеры и камеры подачи проволоки. После вакуумации оставшееся пространство заполняется аргоном с помощью редуктора (2). Данное соотношение поможет избежать деформации камеры, где происходит взрыв проводника, и заливания жидкости в камеру подачи проволоки, в результате ЭВП аргон вытесняет воздух. После одного рабочего цикла полученная суспензия прокачивается из камеры с помощью редуктора и поступает в фильтр, где происходит осаждение порошка на двух фильтрующих мембранах, или же переходит в бункер. Мембраны отчищаются от полученного порошка с помощью вибрационного устройства. Аргон и отфильтрованная вода рекуперируется.

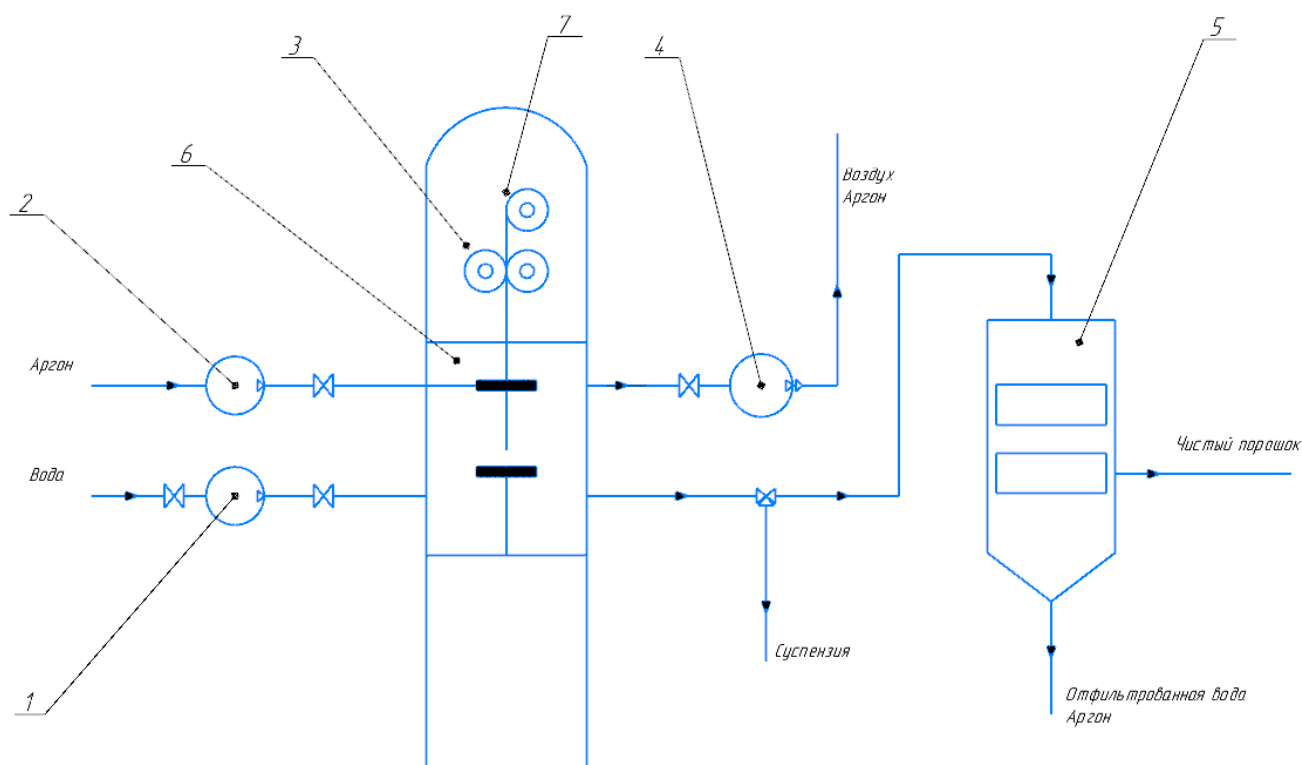


Рисунок 3 – Технологическая схема аппарата для получения суспензии методом электрического взрыва проводников: 1 – насос, 2 – редуктор, 3 – аппарат для получения суспензии, 4 – вакуумный насос, 5 – мембранный фильтр, 6 – взрывная камера, 7 – модуль механизма подачи проволоки.

					ФЮРА ПАПС 000000 ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Выполнил		Барышников А.А.			Технологическая схема			Лит.	Лист	Листов	
Руковод.		.Ан В.В.								7	1
Конс.		Ан В.В.						ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М. Кижнера Группа 4K51			
Н. Контр.											
Руков. ООП		Беляев В.М.									

1 Технологический расчет

1.1 Материальный баланс

Цель данного расчета - определение концентрации, которую можно получить после 1200 взрывов проводника.

Исходные данные:

Объем камеры, м^3 :

$$V_{\text{к}} := 0.021$$

Объем занимаемый водой, м^3 :

$$V_{\text{ж}} := 0.01414$$

Объем занимаемый газом, м^3 :

$$V_{\text{г}} := 0.007$$

Высота аппарата, м;

$$H_{\text{апп}} := 0.3$$

Диаметр аппарата, м:

$$D := 0.3$$

Плотность воды в аппарате, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$:

$$\rho_{\text{ж}} := 1000$$

Расчетные параметры:

Рассчитаем объем камеры, где происходит взрыв проводника:

$$V_{\text{к}} := \frac{(\pi D^2 \cdot H_{\text{апп}})}{4} = 0.021 \text{ м}^3$$

Таблица 1 - Материальный баланс аппарата

Приход	кг/ч	%	Расход	кг/ч	%
Вода	14,098	99,7475534	Вода в т.ч.	14,098	99,6017
Проволока	0,01374	0,0972146	Нп с dч=250 нм	0,0034	0,02402
Аргон	0,02194	0,15523204	Нп с dч=40 нм	0,01035	0,07312
			Аргон	0,02194	0,15501
			потери	0,02069	0,14617
всего	14,1337	100	всего	14,1544	100

					ФЮРА ПАПС 000000 ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Студент		Барышников А.А.			Технологический расчет			Лит.	Лист	Листов	
Руковод.		Ан В.В.							8	12	
Конс.		Ан В.В.						ТПУ ИШНПТ НОЦ Н.М. Кижнера Группа 4К51			
Н. Контр.											
Рцков. ООП		Беляев В.М.									

Для получения необходимой концентрации порошка понадобится:

$$\frac{0.01374 \cdot 1000}{14.14} = 0.972 \frac{\text{г}}{\text{л}}$$

Составили материальный баланс, с помощью которого определили необходимую концентрацию.

					Технологический расчет	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.5 Гидравлический расчет

1.5.1 Подбор редуктора

Цель данного расчета является подбор редуктора для аппарата.

Исходные данные:

Объем воды в аппарате, м ³ ;	$V := 0.015$
Объемный расход воды, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;	$V_{\text{воды}} := 0.0000042$
Вязкость, Па · с;	$\mu := 1005 \cdot 10^{-6}$
Высота трубы, м;	$h := 0.5$
Внутренний диаметр трубы, мм [7];	$d_{\text{вн}} := 32$
Наружный диаметр трубы, мм [7];	$d_{\text{н}} := 38$
Плотность жидкости, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;	$\rho := 1000$

Расчетные параметры:

Мощность, потребляемая двигателем насоса, определяется по формуле [11, с.20]:

$$N := \frac{V_{\text{воды}} \cdot \Delta P}{1000 \cdot \eta_{\text{нас}}}$$

Общее давление определим по формуле 1.49 [с. 25]:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{мс}} + \Delta P_{\text{h}}$$

Распишем каждую потерю:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{1}{d_{\text{н}} \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} + \sum \zeta \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} + \rho \cdot g \cdot h$$

Число Рейнольдса равно:

$$Re := \frac{V \cdot (d_{\text{н}} \cdot 10^{-3}) \cdot \rho}{\mu} = 567.164$$

Коэффициент сопротивления трению равен:

$$\lambda := \frac{64}{Re} = 0.113$$

Число Стэнтона равно:

$$St := \pi \cdot \frac{(d_{\text{н}} \cdot 10^{-3})^2}{4} = 1.134 \times 10^{-3}$$

					Технологический расчет	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Скорость потока в трубе определяем по формуле:

$$\omega := \frac{V}{S_T \cdot 3600} = 3.674 \times 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Определим все коэффициенты местных сопротивлений по таблице XIII [11, с.520] и сведем их в таблицу:

Вид сопротивления	ζ	$\Sigma \zeta$
Вход в трубы с закругленными краями	0,2	$0,2 \cdot 2 = 0,4$
Выход из них	1	$1 \cdot 2 = 2$
Колено	1,1	$3 \cdot 1,1 = 3,3$

Получим суммарный коэффициент местного сопротивления:

$$\Sigma \zeta := 5.7$$

Подставим все слагаемые, чтобы рассчитать общее давление:

$$\Delta P := 1.155 \cdot 1.014 \cdot 10^{-3} + 4.564 \times 10^{-3} + 4.753 \times 10^3 = 4.753 \times 10^3 \text{ Па}$$

Исходя из объемного расхода и рассчитанной мощности, принимаем редуктор [12]:

Таблица 2 - Характеристики редуктора БКО-50-5

Технический параметр	БКО-50-5
Наибольшая пропускаемая способность, м ³ /ч	50
Наибольшее давление газа на входе, МПа	20
Наибольшее рабочее давление газа МПа	1,25
Габаритные размера, мм, не более	165x140x110
Масса, кг, не более	0,87/0,77

Выкачка суспензии осуществляется прямо из баллона через редуктор под давлением 0.5 МПа

1.5.2 Подбор вакуумного насоса для аппарата

Исходные данные:

Объем воды в аппарате, м³; $V := 0.015$

Объемный расход воды, $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$; $V_{\text{воды}} := 0.35$

Вязкость, Па · с; $\mu := 1005 \cdot 10^{-6}$

Высота трубы, м; $h := 0.5$

Внутренний диаметр трубы, мм [7]; $d_{\text{вн}} := 25$

					Технологический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

Наружный диаметр трубы, мм [7];

$$d_H := 32$$

Принимаем вакуум насос Пмвас МР(Р) 030 Z с мощностью двигателя 0.002 кВт, скоростью откачки 0.35 м³/ч и предельным остаточным давлением равным $2.6 \cdot 10^{-6}$ МПа. [13]

1.5.3 Подбор насоса для подачи воды

Исходные данные:

Объем воды в аппарате, м³;

$$V := 0.015$$

Объемный расход воды, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

$$V_{\text{воды}} := 0.0000042$$

Вязкость, Па · с;

$$\mu := 1005 \cdot 10^{-6}$$

Высота трубы, м;

$$h := 0.5$$

Внутренний диаметр трубы, мм [7];

$$d_{\text{вн}} := 32$$

Наружный диаметр трубы, мм [7];

$$d_H := 38$$

Плотность жидкости, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

$$\rho := 1000$$

Расчетные параметры:

Мощность, потребляемая двигателем насоса, определяется по формуле [11, с.20]:

$$N := \frac{V_{\text{воды}} \cdot \Delta P}{1000 \cdot \eta_{\text{нас}}}$$

Общее давление определим по формуле 1.49 [11, с. 25]:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{мс}} + \Delta P_{\text{ph}}$$

Распишем каждую потерю:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{1}{d_H \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} + \sum \zeta \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} + \rho \cdot g \cdot h$$

Число Рейнольдса равно:

$$Re := \frac{V \cdot (d_H \cdot 10^{-3}) \cdot \rho}{\mu} = 567.164$$

Коэффициент сопротивления трению равен:

$$\lambda := \frac{64}{Re} = 0.113$$

					Технологический расчет	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Число Стэнтона равно:

$$St := \pi \cdot \frac{(d_H \cdot 10^{-3})^2}{4} = 1.134 \times 10^{-3}$$

Скорость потока в трубе определяем по формуле:

$$w := \frac{V}{St \cdot 3600} = 3.674 \times 10^{-3} \frac{м}{с}$$

Определим все коэффициенты местных сопротивлений по таблице XIII [13, с.520] и сведем их в таблицу:

Вид сопротивления	ζ	$\sum \zeta$
Выход из них	1	1*2=2

Получим:

$$\sum \zeta := 2$$

Подставим все слагаемые, чтобы рассчитать общее давление:

$$\Delta P := 2.97 + 6.749 \times 10^{-3} + 0.013 = 2.99 \text{ Па}$$

КПД принимаем 0.75, подставим все значения, чтобы получить мощность:

$$N := \frac{(8.33 \cdot 10^{-6}) \cdot (2.99)}{1000 \cdot 0.75} = 3.321 \times 10^{-8} \text{ кВт}$$

Исходя из объемного расхода и рассчитанной мощности принимаем насос [11]:

Таблица 3 - Характеристики насоса Х2/25

Насос/марка	Q, м3/с	H, м.ст.ж	n, 1/с	Эл. Двиг.	Nн, кВт	ηн
Х2/25	4,2*10^-4	25	50	АОЛ-12-2	1,1	-

1.6 Расчет диаметров патрубков

1.6.1 Расчет диаметров патрубков для жидкости

Цель данного расчета - подбор оптимальных патрубков для аппарата, которые будут обеспечивать прочность.

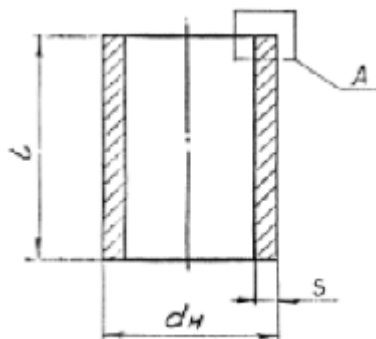


Рисунок 6- Расчетная схема патрубка

Исходные данные:

Скорость жидкости, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$; $\omega_{\text{ск.воды}} := 1$

Объемный расход, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$; $V_{\text{рас.воды}} := 0.0000042$

Расчет патрубков сводится к определению диаметра патрубка по уравнению:

$$d_{\text{п.вода}} := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_{\text{рас.воды}})}{\pi \cdot \omega_{\text{ск.воды}}}} = 2.312 \times 10^{-3} \text{ м}$$

или

$$d_{\text{п.воды}} := 2.312 \text{ мм}$$

Исходя из конструктивных соображений, по [14] принимаем диаметр патрубков 38 мм с толщиной стенки 3,5 мм.

					Технологический расчет	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.5.2 Расчет диаметров патрубков для газа

Цель данного расчета - подбор оптимальных патрубков для аппарата, которые будут обеспечивать прочность.

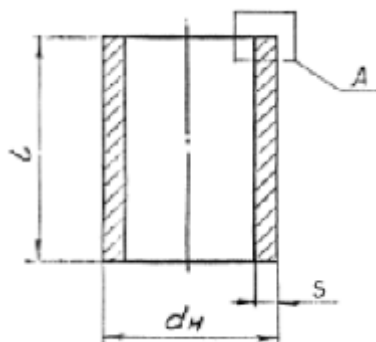


Рисунок 7 - Расчетная схема патрубка

Исходные данные:

Скорость жидкости, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$;

$$\omega_{\text{ск.газ}} := 1.5$$

Объемный расход, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

$$V_{\text{рас.газ}} := 0.0000033$$

Расчет патрубков сводится к определению диаметра патрубка по уравнению:

$$d_{\text{п.газ}} := \sqrt{\frac{(4 \cdot V_{\text{рас.газ}})}{\pi \cdot \omega_{\text{ск.газ}}}} = 1.674 \times 10^{-3} \text{ м}$$

или

$$d_{\text{п.газ}} := 1.674 \text{ мм}$$

Исходя из конструктивных соображений, по [14] принимаем наружный диаметр патрубков 32 мм с толщиной стенки 3,5 мм.

Вывод

Проведен технологический расчет аппарата для получения суспензий методом электрического взрыва проводников в жидкой среде. Рассчитали концентрацию суспензии (0,972 г/л) и температуру воды за один рабочий цикл (43 °С), давление взрывной волны (0,9 МПа). Подобрали насосы и редуктор для аппарата. Произвели расчет толщины и подбор патрубков.

					Технологический расчет	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 Механический расчет

2.1 Выбор конструкционного материала

Марка стали выбирается исходя из условий работы, и по соответствию определенным критериям, таким как хладостойкость, совместимость по агрессивности среды, доступность и сравнительная дешевизна. Также выбранная сталь должна обладать достаточными прочностным и пластическими характеристиками в рабочих условиях, допускать холодную и горячую механическую обработку, а также иметь низкую стоимость и высокую распространенность на рынке. [15]

Так как аппарат получения суспензии методом электрического взрыва проводников должен выдержать давление взрывной волны при разряде конденсатора на электродах, то принимаем сталь 12X18H10T в качестве исполнительной марки стали для элементов корпуса и электродов. Сталь 12X18H10T является коррозионно-стойкой и используется в различных отраслях промышленности, особенно в конструкциях, где происходит контакт с различными органическими кислотами средней концентрации, растворителями и прочее.

В качестве материала для крепежных изделий принимаем сталь 25X1МФ, так как она имеет высокую механическую прочность, устойчивость к резким перепадам температур, а также очень распространена на рынке.

В качестве уплотнительного материала примем паронит, так как он является химически стойким и дешевым относительно других материалов.

2.2 Расчетная модель

Аппарат получения суспензий методом электрического взрыва проводников служит для получения суспензий, состоящих из воды и металлического порошка.

Температура после взрывов проводника достигает 43 градусов, давление взрывной волны 0,9 МПа, давление разряджения $2,6 \cdot 10^{-6}$ МПа.

Через штуцер А полностью вакуумируется установка (камера №1 и №2). Через штуцер Б с помощью насоса подается жидкость (25 градусов) в камеру №2 (2/3 от объема реактора). После этого редуктор из баллона подает аргон и заполняется оставшееся пространство камеры №2 и все камеру №1.

					ФЮРА ПАПС 000000 ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Студент		Барышников А.А			Механический расчет			Лит.	Лист	Листов	
Руковод.		Ан В.В.								20	64
Конс.		Беляев В.М.						ТПУ ИШНПТ			
Н. Контр.								НОЦ Н.М. Кижнера			
Руков. ООП		Беляев В.М.						Группа 4К51			

Происходит взрыв проводника, после которого образуется суспензия, состоящая из металлического проводника и жидкости (вода). Температура суспензии составляет 43 градуса. Далее полученная суспензия прокачивается аргоном с помощью редуктора через штуцер Г в мембранный фильтр. С помощью смотрового окна можно отрегулировать длину проволоки и уровень жидкости внутри аппарата до и после работы.

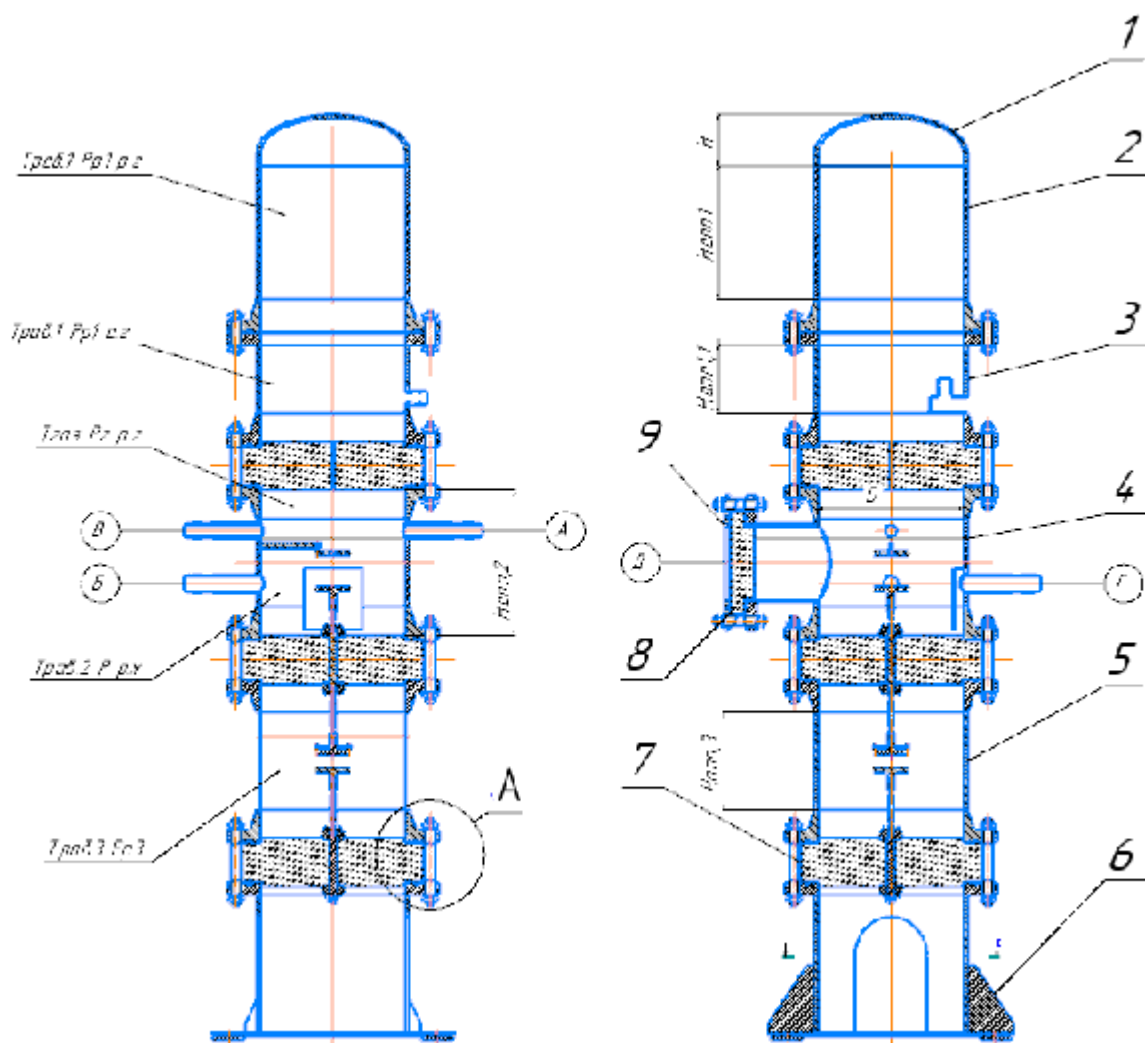


Рисунок 8 - Расчетная модель аппарата получения суспензии методом электрического взрыва проводников

1 - крышка эллиптическая; 2 - колпак; 3 - камера № 1; 4 - камера № 2; 5 - камера № 3; 6 - опора, 7 - перегородка из органического стекла, 8 - перегородка из органического стекла для смотрового окна, 9- круглая крышка

2.3 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки (позиция 2)

Целью данного расчета является определение толщины стенки цилиндрической обечайки колпака, которая будет обеспечивать прочность конструкции.

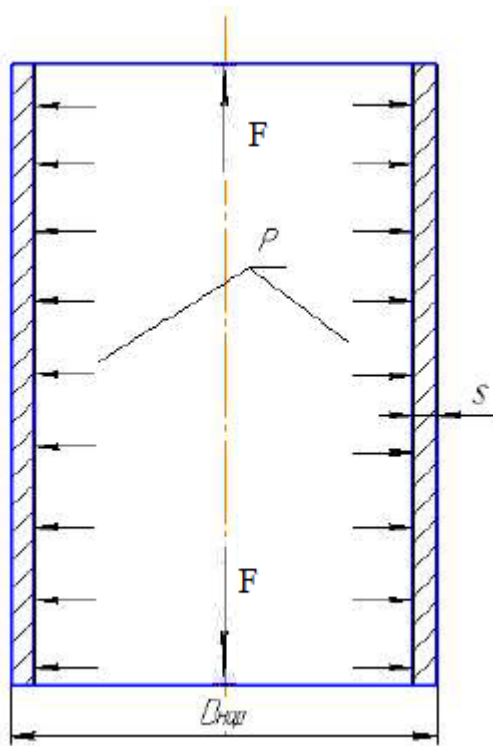


Рисунок 9 - Расчетная схема цилиндрической обечайки колпака

Исходные данные:

Высота камеры обечайки, мм;	$H_{\text{апм.1}} := 275$
Диаметр камеры аппарата, мм;	$D := 309$
Температура газа в аппарате, °C;	$t := 25$
Давление в аппарате, МПа;	$P_r := 0.5$

Расчетные параметры:

Из расчета изменения температуры при взрыве примем максимальную температуру в аппарате:

$$t_{p.1} := \max(t, 20) \quad t_{p.1} := 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Допускаемое напряжение для материала 12X18H10T при рабочей температуре интерполируется по таблице А.3[16]:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 184 \\ 174 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_d := \text{Floor}(\text{interp}(t, \sigma, t_p), 0.5)$$

допускаемое напряжение при рабочей температуре t_p

$$\sigma_d = 183 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение материала 12X18H10T при температуре 20 °С, которое определили по таблице А.3 [16]

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа}$$

Поправочный коэффициент η_k допускаемому напряжению должен быть равен единице, так как аппарат изготавливается из листового проката, определим по таблице 1 [16].

$\eta := 1$ - коэффициент номинального уменьшения допустимого нагружения.

Тогда допускаемое напряжение для материала 12X18H10T с учетом коэффициента номинального уменьшения допустимого нагружения равно:

$$\sigma_{d1} := \eta \cdot \sigma_d = 183 \text{ МПа}$$

Расчетное значение предела текучести для стали 12X18H10T при $t_p=25$ °С определяем методом интерполяции по данным из таблицы Б.7 [16]:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad R_e := \begin{pmatrix} 276 \\ 261 \end{pmatrix}$$

$$R_e := \text{Floor}(\text{interp}(t, R_e, t_p), 0.5)$$

$$R_e = 275 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 12X18H10T при гидравлических испытаниях рассчитывается по формуле 3 [17]:

$$\sigma_H = \frac{R_e}{n}$$

где

$$n := 1.1$$

коэффициент запаса прочности при гидравлическом испытании, который определили по таблице 1 [17]

					Механический расчет	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Тогда допускаемое напряжение для стали 12X18H10T при гидравлических испытаниях:

$$\sigma_H := \text{Floor}\left(\frac{R_e}{n}, 0.5\right) = 249.5 \text{ МПа}$$

Примем коэффициент прочности сварных швов для бесшовных элементов согласно [16, с. 7]:

$$\varphi_p := 1$$

Расчетное давление в аппарате:

$$P_{p1} := P_r = 0.5 \text{ МПа}$$

Давление при гидравлическом испытании определяем по формуле 3.1 [17]:

$$P_{н.о} := 1.25 \cdot P_{p1} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_d} = 0.628 \text{ МПа}$$

2.3.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении определяется по формуле 2 [17]:

$$s_p := \max\left[P_{p1} \cdot \left(\frac{D}{2 \cdot \varphi_p \cdot \sigma_{20} - P_{p1}}\right), \frac{(P_{н.о} \cdot D)}{1.8 \cdot \varphi_p \cdot \sigma_H - P_{н.о}}\right] = 0.433 \text{ мм}$$

Прибавку к расчетным толщинам вычисляют по формуле 13 [18]:

$$c = c_1 + c_2 + c_3$$

где

$$\Pi := 0.10 \text{ мм/год скорость коррозии (12X18H10T) [19]}$$

$$\tau := 10 \text{ лет срок эксплуатации}$$

$$c_1 := \Pi \cdot \tau = 1 \text{ мм прибавка для компенсации коррозии (эрозии) [19]}$$

$$c_2 := 0.4 \text{ мм прибавка на минусовое отклонение от стандартного сортамента [22]}$$

$$c_3 := 0 \text{ мм прибавка на утонение стенки элемента сосуда при технологических операциях [22]}$$

Тогда прибавка к расчетным толщинам равна:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 1.4 \text{ мм}$$

					Механический расчет	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Исполнительная толщина стенки обечайки с учетом суммы прибавок:

$$s_{н1} := \text{Ceil}(s_p + c, 0.5) = 2 \text{ мм}$$

На основании расчетов по ГОСТ [20] принимаем минимальную исполнительную толщину стенки для данного диаметра:

$$s_1 := 8 \text{ мм}$$

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_1 = \text{"Условия применения формул выполняются"}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при рабочих условиях:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{д1} \cdot \varphi_p \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 7.654$$

МПа

$$\text{Пров}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_{p1} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_2 = \text{"Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при условиях испытаний:

$$P_{д1и} := \frac{1.8 \cdot \sigma_{и} \cdot \varphi_p \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 9.392$$

МПа

$$\text{Пров}_{2и} := \begin{cases} \text{"Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д1и} > P_{и.о} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{2и} = \text{"Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"}$$

2.3.2 Расчет осевого растягивающего усилия при рабочих условиях и условиях испытания:

-при рабочих условиях:

Расчетное осевое растягивающее усилие равно

$$F := \frac{P_{p1} \cdot \pi \cdot D^2}{4} = 3.75 \times 10^4 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие по формуле 13 [17]

$$[F] := \pi \cdot (D + s_1 - c) \cdot (s_1 - c) \cdot \varphi_p \cdot \sigma_{д1} = 1.198 \times 10^6 \text{ Н}$$

					Механический расчет	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Так как

$$F < [F] \quad (3.75 \times 10^4 < 1.198 \times 10^6) \text{ условия выполняются}$$

-при условиях испытаний:

Осевое растягивающее усилие находится по формуле [17]:

$$F_{\text{н}} := 0.25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot P_{\text{н.о}} = 4.713 \times 10^4 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие из условия прочности находится по формуле 15 [17]:

$$F_{\text{н.д}\sigma} := \pi \cdot (D + s_1 - c) \cdot (s_1 - c) \cdot \sigma_{\text{н}} = 1.633 \times 10^6 \text{ Н}$$

$$F_{\text{н.д}\sigma} > F_{\text{н}} \quad (1.633 \times 10^6 > 4.713 \times 10^4) \text{ условия выполняются}$$

Из расчетов видно, что принятая исполнительная толщина стенки с запасом обеспечивает надежность конструкции аппарата.

2.3.3 Расчет цилиндрической обечайки при наружном давлении

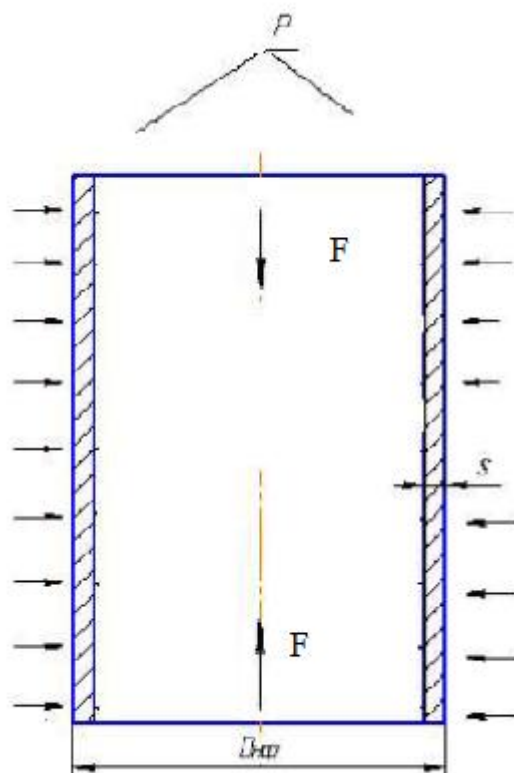


Рисунок 10 - Расчетная схема цилиндрической обечайки №1

Исходные данные:

Высота камеры обечайки, мм;

$$H_{\text{камп.1}} := 275$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

Диаметр камеры аппарата, мм;

$$D := 309$$

Температура газа в аппарате, °C;

$$t := 25$$

Наружнее давление, МПа;

$$P_{нар} := 0.1$$

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при наружном давлении определяется по формуле 5 [17]:

$$s_p = \max \left[10^3 \cdot 1.06 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{D}{B} \cdot \left(\frac{P_{раз} \cdot H_{апп.1}}{10^{-5} \cdot E \cdot D} \right)^{0.4}, 1.2 \cdot P_{внеш.исп} \cdot \frac{D \cdot 10^3}{(2 \cdot \sigma_H - P_p)} \right]$$

где коэффициент В рассчитывается по формуле 6 [17]:

$$B = \max \left[1.0, 0.47 \cdot \left(\frac{P_{p1}}{E \cdot 10^{-5}} \right)^{0.067} \cdot \left(\frac{H_{апп.1}}{D} \right)^{0.4} \right]$$

Расчетное значение модуля упругости для стали 12Х18Н10Т при $t_p=25$ °C и при $t=20$ °C определяем методом интерполяции по данным из таблицы В.1 [16]:

$$t_w := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad E := \begin{pmatrix} 1.99 \cdot 10^5 \\ 1.91 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E := \text{Floor}(\text{interp}(t, E, t_{p.1}), 0.5)$$

$$E_w := 1.969 \times 10^{11} \text{ Па} \quad \text{значение модуля упругости аппарата при температуре } 25 \text{ °C}$$

$$E_H := 1.99 \cdot 10^{11} \text{ Па} \quad \text{значение модуля упругости аппарата при температуре } 20 \text{ °C}$$

Тогда коэффициент В равен:

$$B := \max \left[1.0, 0.47 \cdot \left(\frac{P_{p1}}{E \cdot 10^{-5}} \right)^{0.067} \cdot \left(\frac{H_{апп.1}}{D} \right)^{0.4} \right] = 1$$

Примем давление при разряжении равным [13]:

$$P_{раз} := 2.6 \cdot 10^{-6} \text{ МПа}$$

					Механический расчет	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Примем давление испытания при разряжении равным [21]:

$$P_{\text{внеш.исп}} := 0.2 \text{ МПа}$$

Тогда расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при наружном давлении:

$$s_p := \max \left[1.06 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{D}{B} \cdot \left(\frac{P_{\text{раз}} \cdot H_{\text{амп.1}}}{10^{-5} \cdot E \cdot D} \right)^{0.4}, 1.2 \cdot P_{\text{внеш.исп}} \cdot \frac{D}{(2 \cdot \sigma_{\text{н}} - P_{\text{р1}})} \right] = 0.149 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки обечайки с учетом суммы прибавок:

$$s_{\text{н2}} := \text{Ceil}(s_p + c, 0.5) = 2 \text{ мм}$$

На основании расчетов принимаем минимальную исполнительную толщину стенки для данного диаметра по ГОСТ [20]:

$$s_{\text{н2}} := 8 \text{ мм}$$

Проверка условия:

$$\text{Проверка} := \begin{cases} \text{"условие применения формул выполняется"} & \text{if } \frac{s_{\text{н2}} - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка} = \text{"условие применения формул выполняется"}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$p_n := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д1}} \cdot (s_{\text{н2}} - c)}{D + (s_{\text{н2}} - c)} = 7.654 \text{ МПа}$$

Коэффициент B2 равен:

$$B2 := \min \left[1, 9.45 \frac{D}{H_{\text{амп.1}}} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s_{\text{н2}} - c)}} \right] = 1$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости:

$$(n_y) := 2.4 \text{ -коэффициент запаса устойчивости для рабочих условий [16]}$$

$$p_e := \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y \cdot B2} \cdot \frac{D}{H_{\text{амп.1}}} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_{\text{н2}} - c)}{D} \right]^{2.5} = 1.278 \times 10^7 \text{ Па}$$

$$p_e := 13.36 \text{ МПа}$$

					Механический расчет	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Допускаемое наружное давление рассчитывается по формуле:

$$P := \frac{pn}{\sqrt{1 + \left(\frac{pn}{pe}\right)^2}} = 6.641 \quad \text{МПа}$$

Осевое сжимающее усилие равно:

$$F := 0.25 \cdot \pi \cdot (D^2) \cdot P_{\text{нар}} = 7.499 \times 10^3 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности равно:

$$F_{d\sigma} := \pi \cdot [D + (s_{n2} - c)] \cdot (s_{n2} - c) \cdot \sigma_{д1} = 1.198 \times 10^6 \text{ Н}$$

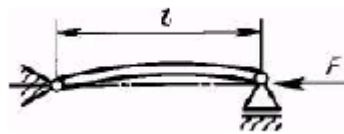


Рисунок 11 - Расчетная схема для сжимающего усилия

Приведённую расчётную длину принимают по таблице 1 [17] :

$$l_{\text{пр}} := H_{\text{амп.1}}$$

Гибкость λ вычисляется по формуле 19 [17]:

$$\lambda := \frac{2.83 \cdot l_{\text{пр}}}{D + (s_{n2} - c) \cdot 10^{-3}} = 2.519$$

$$F_{dE} := \begin{cases} \text{if } \frac{H_{\text{амп.1}}}{D} \geq 10 \\ \quad \begin{cases} F_{dE1} \leftarrow 31 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[0.1 \cdot \frac{(s_{n2} - c)}{D} \right]^{2.5} \\ F_{dE2} \leftarrow \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{\pi \cdot [D + (s_{n2} - c) \cdot 10^{-3}] \cdot (s_{n2} - c) \cdot 10^{-3} \cdot E}{n_y} \\ F_{dE} \leftarrow \min(F_{dE1}, F_{dE2}) \end{cases} \\ F_{dE} \leftarrow 31 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[0.1 \cdot \frac{(s_{n2} - c)}{D} \right]^{2.5} \quad \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{dE} = 5.12 \times 10^5 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие равно:

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

$$F_d := \frac{F_{d\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{d\sigma}}{F_{dE}}\right)^2}}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие равно:

$$F_d := \frac{F_{d\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{d\sigma}}{F_{dE}}\right)^2}} = 4.708 \times 10^5 \text{ Н}$$

Проверка условия устойчивости:

$$\text{prov_2} := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{P_{нар}}{P} + \frac{F}{F_d} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

prov_2 = "Условие устойчивости выполняется"

$$\frac{P_{нар}}{P} + \frac{F}{F_d} = 0.031$$

2.3.4 При гидроиспытаниях:

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$P_{гидр} := 0.2 \text{ МПа}$ - для аппаратов и трубопроводов, работающих под вакуумом давление испытаний, принимается равным 0,2 МПа [21].

$$s_{риск} := \frac{P_{гидр} \cdot D}{2 \cdot \varphi_p \cdot \sigma_H - P_{гидр}} = 0.124 \text{ мм}$$

$$s_{гидр} := s_{риск} + c = 1.524 \text{ мм}$$

На основании расчетов принимаем минимальную исполнительную толщину стенки для данного диаметра по ГОСТ [20]:

$$s_{2исп} := 8 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_{2\text{исп}} - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{Пров}_3 = \text{"Условия применения формул выполняются"}$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при условиях испытаний:

$$P_{d1\text{исп}} := \frac{1.8 \cdot \sigma_H \cdot \varphi_p \cdot (s_{2\text{исп}} - c)}{D + (s_{2\text{исп}} - c)} = 9.392 \text{ МПа}$$

$$\text{Пров}_{3\text{исп}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"} & \text{if } P_{d1\text{исп}} > P_{\text{гидр}} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{Пров}_{3\text{исп}} = \text{"Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"}$

Осевое растягивающее усилие при условиях испытаний находится по формуле [17]:

$$F_H := 0.25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot P_{\text{гидр}} = 1.5 \times 10^4 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие из условия прочности находится по формуле [17]:

$$F_{H.d\sigma} := \pi \cdot [D + (s_{2\text{исп}} - c)] \cdot (s_{2\text{исп}} - c) \cdot \sigma_H = 1.633 \times 10^6 \text{ Н}$$

$$F_{H.d\sigma} > F_H \quad (1.633 \times 10^6 > 1.5 \times 10^4) \quad \text{условия выполняются}$$

Из расчетов видно, что принятая исполнительная толщина стенки с запасом обеспечивает надежность конструкции аппарата. С целью удешевления конструкции обечайка будет сделана из трубы.

2.4 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки (позиция 3)

Целью данного расчета является определение толщины стенки цилиндрической обечайки камеры №1, которая будет обеспечивать прочность конструкции.

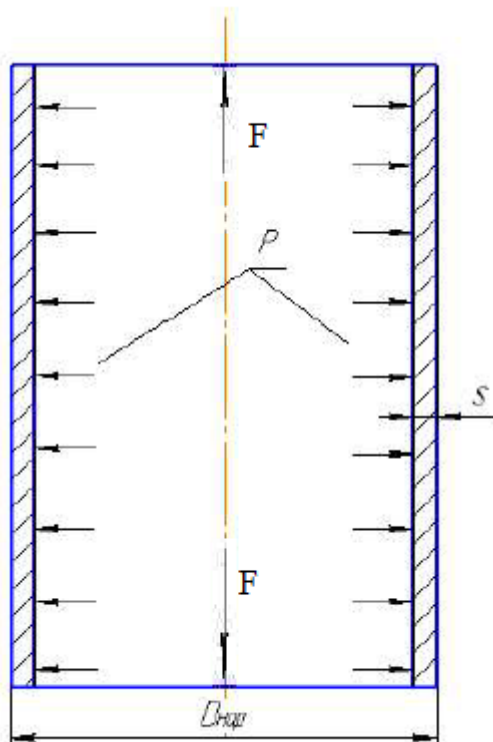


Рисунок 12 - Расчетная схема цилиндрической обечайки колпака

Исходные данные:

Высота камеры обечайки, мм; $H_{ам1.1} := 140$

Диаметр камеры аппарата, мм; $D := 309$

Температура газа в аппарате, °C; $t := 25$

Давление в аппарате, МПа; $P_r := 0.5$

Расчетные параметры:

Из расчета изменения температуры при взрыве примем максимальную температуру в аппарате:

$$t_{p.1} := \max(t, 20) \quad t_{p.1} := 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение для материала 12X18H10T при рабочей температуре интерполируется по таблице А.3 [16]:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 184 \\ 174 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\text{д}} := \text{Floor}(\text{interp}(t, \sigma, t_{p.1}), 0.5)$$

допускаемое напряжение при рабочей температуре t_p

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

$$\sigma_d = 183 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение материала 12X18H10T при температуре 20 °С, которое определили по таблице А.3[16]:

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа}$$

Поправочный коэффициент η к допускаемому напряжению должен быть равен единице, так как аппарат изготавливается из листового проката, определим по таблице 1 [16].

$\eta := 1$ - коэффициент номинального уменьшения допустимого нагружения.

Тогда допускаемое напряжение для материала 12X18H10T с учетом коэффициента номинального уменьшения допустимого нагружения равно:

$$\sigma_{d1} := \eta \cdot \sigma_d = 183 \text{ МПа}$$

Расчетное значение предела текучести для стали 12X18H10T при $t_p=25$ °С определяем методом интерполяции по данным из таблицы Б.7 [16]:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad R_e := \begin{pmatrix} 276 \\ 261 \end{pmatrix}$$

$$R_e := \text{Floor}(\text{interp}(t, R_e, t_{p,1}), 0.5)$$

$$R_e = 275 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 12X18H10T при гидравлических испытаниях рассчитывается по формуле 3 [17]:

$$\sigma_{\text{н}} := \frac{R_e}{n}$$

где

$n := 1.1$ коэффициент запаса прочности при гидравлическом испытании, который определили по таблице 1 [17]

Тогда допускаемое напряжение для стали 12X18H10T при гидравлических испытаниях:

$$\sigma_{\text{н}} := \text{Floor}\left(\frac{R_e}{n}, 0.5\right) = 249.5 \text{ МПа}$$

Примем коэффициент прочности сварных швов для бесшовных элементов согласно [16, с. 7]:

					Механический расчет	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\varphi_p := 1$$

Расчетное давление в аппарате:

$$P_{p1} := P_r = 0.5 \text{ МПа}$$

Давление при гидравлическом испытании определяем по формуле 3.1 [17]:

$$P_{и.о} := 1.25 \cdot P_{p1} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_d} = 0.628 \text{ МПа}$$

2.4.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении определяется по формуле 2 [17]:

$$s_p := \max \left[P_{p1} \cdot \left(\frac{D}{2 \cdot \varphi_p \cdot \sigma_{20} - P_{p1}} \right), \frac{(P_{и.о} \cdot D)}{1.8 \cdot \varphi_p \cdot \sigma_{и} - P_{и.о}} \right] = 0.433 \text{ мм}$$

Прибавку к расчетным толщинам вычисляют по формуле 13 [18]:

$$c := c_1 + c_2 + c_3$$

где

$$\Pi := 0.10$$

мм/год скорость коррозии (12X18H10T) [19]

$$\tau := 10 \text{ лет}$$

срок эксплуатации

$$c_1 := \Pi \cdot \tau = 1 \text{ мм}$$

прибавка для компенсации коррозии (эрозии)[19]

$$c_2 := 0.4 \text{ мм}$$

прибавка на минусовое отклонение от стандартного сортамента [22]

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

прибавка на утонение стенки элемента сосуда при технологических операциях [22]

Тогда прибавка к расчетным толщинам равна:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 1.4 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки обечайки с учетом суммы прибавок:

$$s_{и1} := \text{Ceil}(s_p + c, 0.5) = 2 \text{ мм}$$

На основании расчетов принимаем минимальную исполнительную толщину стенки для данного диаметра по ГОСТ [20]:

$$s_1 := 8 \text{ мм}$$

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_1 = \text{"Условия применения формул выполняются"}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при рабочих условиях:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{д1} \cdot \varphi_p \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 7.654 \text{ МПа}$$

$$Пров_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_{p1} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₂ = "Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"

Допускаемое внутреннее избыточное давление при условиях испытаний:

$$P_{д1и} := \frac{1.8 \cdot \sigma_{и} \cdot \varphi_p \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 9.392 \text{ МПа}$$

$$Пров_{2и} := \begin{cases} \text{"Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д1и} > P_{и.о} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров_{2и} = "Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"

2.4.2 Расчет осевого растягивающего усилия при рабочих условиях и условиях испытания

-при рабочих условиях:

Расчетное осевое растягивающее усилие равно

$$F := \frac{P_{p1} \cdot \pi \cdot D^2}{4} = 3.75 \times 10^4 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие по формуле 13 [17]

$$[F] := \pi \cdot (D + s_1 - c) \cdot (s_1 - c) \cdot \varphi_p \cdot \sigma_{д1} = 1.198 \times 10^6 \text{ Н}$$

$$F < [F] \quad (7.499 \times 10^3 < 1.198 \times 10^6) \quad \text{условия выполняются}$$

-при условиях испытаний:

Осевое растягивающее усилие находится по формуле [17]:

$$F_{и} := 0.25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot P_{и.о} = 4.713 \times 10^4 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие из условия прочности находится по формуле [17]:

$$F_{и.д\sigma} := \pi \cdot (D + s_1 - c) \cdot (s_1 - c) \cdot \sigma_{и} = 1.633 \times 10^6 \text{ Н}$$

$$F_{и.д\sigma} > F_{и} (1.633 \times 10^6 > 4.713 \times 10^4) \quad \text{условия выполняются}$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Из расчетов видно, что принятая исполнительная толщина стенки с запасом обеспечивает надежность конструкции аппарата.

2.4.3 Расчет цилиндрической обечайки при наружном давлении

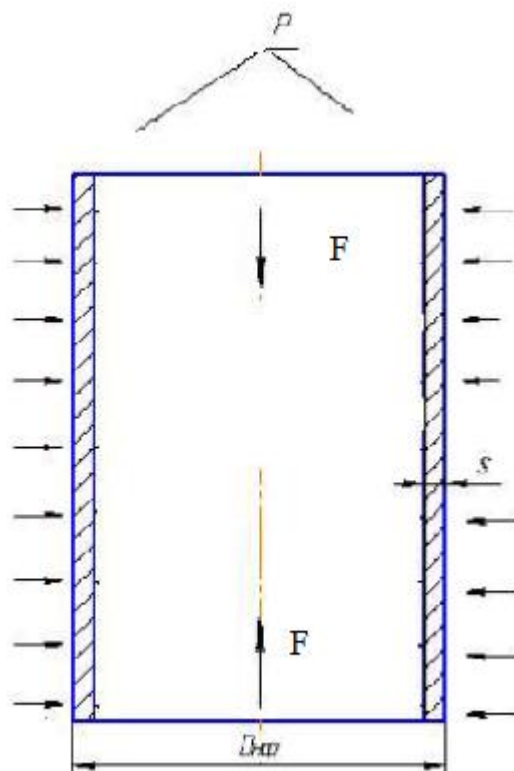


Рисунок 13 - Расчетная схема цилиндрической обечайки №1

Исходные данные:

Высота камеры обечайки, мм;	$H_{амп1.1} := 140$
Диаметр камеры аппарата, мм;	$D := 309$
Температура газа в аппарате, °C;	$t := 25$
Наружное давление, МПа;	$P_{нар} := 0.1$

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при наружном давлении определяется по формуле 5 [17]:

$$s_p := \max \left[10^3 \cdot 1.06 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{D}{B} \cdot \left(\frac{P_{раз} \cdot H_{амп1.1}}{10^{-5} \cdot E \cdot D} \right)^{0.4}, 1.2 \cdot P_{внеш.исп} \cdot \frac{D \cdot 10^3}{(2 \cdot \sigma_{и} - P_{p1})} \right]$$

где коэффициент В рассчитывается по формуле 6 [17]:

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

$$B := \max \left[1.0, 0.47 \cdot \left(\frac{P_{p1}}{E \cdot 10^{-5}} \right)^{0.067} \cdot \left(\frac{H_{амп1.1}}{D} \right)^{0.4} \right]$$

Расчетное значение модуля упругости для стали 12Х18Н10Т при $t_p=25$ °С и при $t=20$ °С определяем методом интерполяции по данным из таблицы В.1 [16]:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad E := \begin{pmatrix} 1.99 \cdot 10^5 \\ 1.91 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E := \text{Floor}(\text{interp}(t, E, t_p), 0.5)$$

$$E := 1.969 \times 10^{11} \text{ Па} \quad \text{значение модуля упругости аппарата при температуре } 25 \text{ °С}$$

$$E_u := 1.99 \cdot 10^{11} \text{ Па} \quad \text{значение модуля упругости аппарата при температуре } 20 \text{ °С}$$

Тогда коэффициент В равен:

$$B := \max \left[1.0, 0.47 \cdot \left(\frac{P_{p1}}{E \cdot 10^{-5}} \right)^{0.067} \cdot \left(\frac{H_{амп1.1}}{D} \right)^{0.4} \right] = 1$$

Примем давление при разряжении равным [13]:

$$P_{раз} := 2.6 \cdot 10^{-6} \text{ МПа}$$

Примем давление испытании при разряжении равным [21]:

$$P_{внеш.исп} := 0.2 \text{ МПа}$$

Тогда расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при наружном давлении:

$$s_p := \max \left[1.06 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{D}{B} \cdot \left(\frac{P_{раз} \cdot H_{амп1.1}}{10^{-5} \cdot E \cdot D} \right)^{0.4}, 1.2 \cdot P_{внеш.исп} \cdot \frac{D}{(2 \cdot \sigma_u - P_{p1})} \right] = 0.149 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки обечайки с учетом суммы прибавок:

$$s_{исп} := \text{Ceil}(s_p + c, 0.5) = 2 \text{ мм}$$

На основании расчетов принимаем минимальную исполнительную толщину стенки для данного диаметра по ГОСТ [20]:

$$s_{исп} := 8 \text{ мм}$$

					Механический расчет	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Проверка условия:

$$\text{Проверка} := \begin{cases} \text{"условие применения формул выполняется"} & \text{if } \frac{s_{H2} - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка = "условие применения формул выполняется"

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$p_n := \frac{2 \cdot \sigma_{d1} \cdot (s_{H2} - c)}{D + (s_{H2} - c)} = 7.654 \text{ МПа}$$

Коэффициент B2 равен:

$$B2 := \min \left[1, 9.45 \frac{D}{H_{амп1.1}} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s_{H2} - c)}} \right] = 1$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости:

$$(n_y) := 2.4 \text{ -коэффициент запаса устойчивости для рабочих условий [16]}$$

$$p_e := \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y \cdot B2} \cdot \frac{D}{H_{амп.1}} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_{H2} - c)}{D} \right]^{2.5} = 1.278 \times 10^7 \text{ Па}$$

$$p_e := 13.36 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление рассчитывается по формуле:

$$p := \frac{p_n}{\sqrt{1 + \left(\frac{p_n}{p_e} \right)^2}} = 6.641 \text{ МПа}$$

Осевое сжимающее усилие равно:

$$F := 0.25 \cdot \pi \cdot (D^2) \cdot p_{нар} = 7.499 \times 10^3 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности равно:

$$F_{доп} := \pi \cdot [D + (s_{H2} - c)] \cdot (s_{H2} - c) \cdot \sigma_{d1} = 1.198 \times 10^6 \text{ Н}$$

					Механический расчет	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

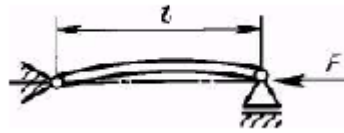


Рисунок 14 - Расчетная схема для сжимающего усилия

Приведённую расчётную длину принимают по таблице 1 [17]:

$$l_{np} := H_{amm1.1}$$

Гибкость λ вычисляется по формуле 19 [17]:

$$\lambda := \frac{2.83 \cdot l_{np}}{D + (s_{n2} - c) \cdot 10^{-3}} = 1.282$$

$$F_{dE} := \begin{cases} \text{if } \frac{H_{amm1.1}}{D} \geq 10 \\ \begin{cases} F_{dE1} \leftarrow 31 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[0.1 \cdot \frac{(s_{n2} - c)}{D} \right]^{2.5} \\ F_{dE2} \leftarrow \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{\pi \cdot [D + (s_{n2} - c) \cdot 10^{-3}] \cdot (s_{n2} - c) \cdot 10^{-3} \cdot E}{n_y} \\ F_{dE} \leftarrow \min(F_{dE1}, F_{dE2}) \end{cases} \\ F_{dE} \leftarrow 31 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[0.1 \cdot \frac{(s_{n2} - c)}{D} \right]^{2.5} \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$F_{dE} = 5.12 \times 10^5 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие равно:

$$F_{\pi} := \frac{F_{d\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{d\sigma}}{F_{dE}} \right)^2}}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие равно:

$$F_{\pi} := \frac{F_{d\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{d\sigma}}{F_{dE}} \right)^2}} = 4.708 \times 10^5 \text{ Н}$$

Проверка условия устойчивости:

$$\text{prov}_2 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{P_{\text{нар}}}{P} + \frac{F}{F_d} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

prov_2 = "Условие устойчивости выполняется"

$$\frac{P_{\text{нар}}}{P} + \frac{F}{F_d} = 0.031$$

2.4.4 Расчет цилиндрической обечайки при гидроиспытаниях

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$P_{\text{гидр}} := 0.2 \text{ МПа}$ - для аппаратов и трубопроводов, работающих под вакуумом давление испытаний принимается равным 0,2 МПа [21].

$$s_{\text{риск}} := \frac{P_{\text{гидр}} \cdot D}{2 \cdot \varphi_p \cdot \sigma_n - P_{\text{гидр}}} = 0.124 \text{ мм}$$

$$s_{\text{исп}} := s_{\text{риск}} + c = 1.524 \text{ мм}$$

На основании расчетов принимаем минимальную исполнительную толщину стенки для данного диаметра по ГОСТ [20]:

$$s_{\text{исп}} := 8 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_{\text{исп}} - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров_3 = "Условия применения формул выполняются"

Допускаемое внутреннее избыточное давление при условиях испытаний:

$$P_{\text{дисп}} := \frac{1.8 \cdot \sigma_n \cdot \varphi_p \cdot (s_{\text{исп}} - c)}{D + (s_{\text{исп}} - c)} = 9.392 \text{ МПа}$$

$$\text{Пров}_{3\text{исп}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности для цилинд. обечайки выполняется"} & \text{if } P_{\text{дисп}} > P_{\text{гидр}} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров_3исп = "Условие прочности для цилинд. обечайки выполняется"

Осевое растягивающее усилие при условиях испытаний находится по формуле [14]:

$$F_n := 0.25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot P_{\text{гидр}} = 1.5 \times 10^4 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие из условия прочности находится по формуле [17]:

					Механический расчет	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$F_{н.д\sigma} := \pi \cdot [D + (s_{2исп} - c)] \cdot (s_{2исп} - c) \cdot \sigma_{н} = 1.633 \times 10^6 \text{ Н}$$

$$F_{н.д\sigma} > F_{н} \quad (1.633 \times 10^6 > 1.5 \times 10^4) \quad \text{условия выполняются}$$

Из расчетов видно, что принятая исполнительная толщина стенки с запасом обеспечивает надежность конструкции аппарата. С целью удешевления конструкции обечайка будет сделана из трубы.

2.5 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки (позиция 4)

Целью данного расчета является определение толщины стенки цилиндрической обечайки камеры №2, которая будет обеспечивать прочность конструкции.

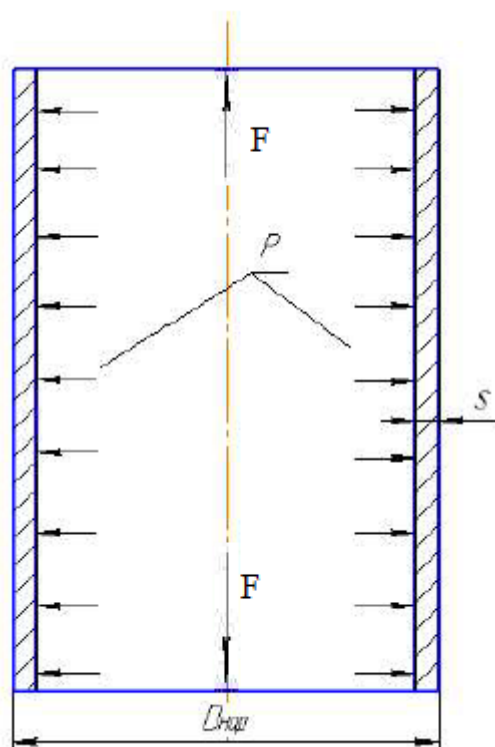


Рисунок 15 - Расчетная схема цилиндрической обечайки камеры №2

Исходные данные:

Высота камеры обечайки, мм;

$$H_{ам2} := 182$$

Диаметр камеры аппарата, мм;

$$D := 309$$

Температура газа в аппарате, °C;

$$t := 43$$

Давление в аппарате, МПа;

$$P_{г} := 0.5$$

Давление взрывной волны, МПа;

$$P_{вз} := 0.9$$

Плотность жидкости в аппарате, кг/м³;

$$\rho_{ж} := 1000$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Из расчета изменения температуры при взрыве примем максимальную температуру в аппарате:

$$t_p := \max(t, 20) \quad t_p := 43 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение для материала 12X18H10T при рабочей температуре интерполируется по таблице А.3[16]:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 184 \\ 174 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_d := \text{Floor}(\text{interp}(t, \sigma, t_p), 0.5)$$

допускаемое напряжение при рабочей температуре t_p

$$\sigma_d = 181 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение материала 12X18H10T при температуре 20 °С, которое определили по таблице [16]

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа}$$

Поправочный коэффициент η к допускаемому напряжению должен быть равен единице, так как аппарат изготавливается из листового проката, определим по таблице 1 [17].

коэффициент номинального уменьшения допустимого нагружения.

$$\eta := 1$$

Тогда допускаемое напряжение для материала 12X18H10T с учетом коэффициента номинального уменьшения допустимого нагружения рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{d1} := \eta \cdot \sigma_d = 181 \text{ МПа}$$

Расчетное значение предела текучести для стали 12X18H10T при $t_p=43 \text{ } ^\circ\text{C}$ определяем методом интерполяции по данным из таблицы Б.7 [16]:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad R_e := \begin{pmatrix} 276 \\ 261 \end{pmatrix}$$

$$R_e := \text{Floor}(\text{interp}(t, R_e, t_p), 0.5)$$

$$R_e = 271.5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 12X18H10T при гидравлических испытаниях рассчитывается по формуле [17]:

$$\sigma_{d1} := \frac{R_e}{n}$$

					Механический расчет	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где

$n := 1.1$ коэффициент запаса прочности при гидравлическом испытании, который определили по таблице 1 [17]

Тогда допускаемое напряжение для стали 12X18H10T при гидравлических испытаниях:

$$\sigma_H := \text{Floor}\left(\frac{R_e}{n}, 0.5\right) = 246.5 \text{ МПа}$$

Примем коэффициент прочности сварных швов для бесшовных элементов согласно [16, с. 7]:

$$\varphi_p := 1$$

Расчетное давление в аппарате:

$$P_p = P_{\text{атм}} + P_{\text{вз}} + \frac{\rho_{\text{ж}} \cdot H_{\text{апп2}} \cdot g}{10^6}$$

Расчетное давление в аппарате:

$$g := 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \text{ ускорение свободного падения}$$

Примем:

$$H_{\text{апп2}} := 0.182 \text{ м}$$

$$P_p := P_{\text{г}} + P_{\text{вз}} + \frac{\rho_{\text{ж}} \cdot H_{\text{апп2}} \cdot g}{10^6} = 1.402 \text{ МПа}$$

Давление при гидравлическом испытании определяем по формуле [17]:

$$P_{\text{и.о}} := 1.25 \cdot P_p \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_d}$$

Давление при гидравлическом испытании:

$$P_{\text{и.о}} := 1.25 \cdot P_p \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_d} = 1.781 \text{ МПа}$$

2.5.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении определяется по формуле [17]:

$$s_p := \max \left[P_p \cdot \left(\frac{D}{2 \cdot \varphi_p \cdot \sigma_{20} - P_p} \right), \frac{(P_{\text{и.о}} \cdot D)}{1.8 \cdot \varphi_p \cdot \sigma_{\text{н}} - P_{\text{и.о}}} \right] = 1.246 \text{ мм}$$

Прибавку к расчетным толщинам вычисляют по формуле [18]:

$$c := c_1 + c_2 + c_3$$

					Механический расчет	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где

$\Pi := 0.10$ мм/год скорость коррозии (12X18H10T) [19]

$\tau := 10$ лет

$c_1 := \Pi \cdot \tau = 1$ мм прибавка для компенсации коррозии (эрозии) [19]

$c_2 := 0.4$ мм прибавка на минусовое отклонение от стандартного сортамента [22]

$c_3 := 0$ мм прибавка на утонение стенки элемента сосуда при технологических операциях [22]

Тогда прибавка к расчетным толщинам равна:

$c := c_1 + c_2 + c_3 = 1.4$ мм

Исполнительная толщина стенки обечайки с учетом суммы прибавок [17]:

$s_{н1} := \text{Ceil}(s_p + c, 0.5) = 3$ мм

На основании расчетов принимаем минимальную исполнительную толщину стенки для данного диаметра по ГОСТ [20]:

$s_1 := 8$ мм

$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$\text{Пров}_1 = \text{"Условия применения формул выполняются"}$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при рабочих условиях:

$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{д1} \cdot \varphi_p \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 7.57$ МПа

$\text{Пров}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_p \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$\text{Пров}_2 = \text{"Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"}$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при условиях испытаний:

$P_{д1н} := \frac{1.8 \cdot \sigma_{н1} \cdot \varphi_p \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 9.279$ МПа

$\text{Пров}_{2н} := \begin{cases} \text{"Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д1н} > P_{н.о} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$\text{Пров}_{2н} = \text{"Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"}$

2.5.2 Расчет осевого растягивающего усилия при рабочих условиях и условиях испытания

-при рабочих условиях:

Расчетное осевое растягивающее усилие равно

					Механический расчет	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$F := \frac{P_p \cdot \pi \cdot D^2}{4} = 1.051 \times 10^5 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие по формуле [17]

$$[F] := \pi \cdot (D + s_1 - c) \cdot (s_1 - c) \cdot \varphi_p \cdot \sigma_{д1} = 1.184 \times 10^6 \text{ Н}$$

$$F < [F] \quad (7.512 \times 10^4 < 1.184 \times 10^6) \quad \text{условия выполняются}$$

-при условиях испытаний:

Осевое растягивающее усилие е находится по формуле [17]:

$$F_{и.о} := 0.25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot P_{и.о} = 1.336 \times 10^5 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие из условия прочности находится по формуле [17]:

$$F_{и.д\sigma} := \pi \cdot (D + s_1 - c) \cdot (s_1 - c) \cdot \sigma_{и} = 1.613 \times 10^6 \text{ Н}$$

$$F_{и.д\sigma} > F_{и} \quad (1.613 \times 10^6 > 9.546 \times 10^4) \quad \text{условия выполняются}$$

2.5.3 Расчет цилиндрической обечайки при наружном давлении

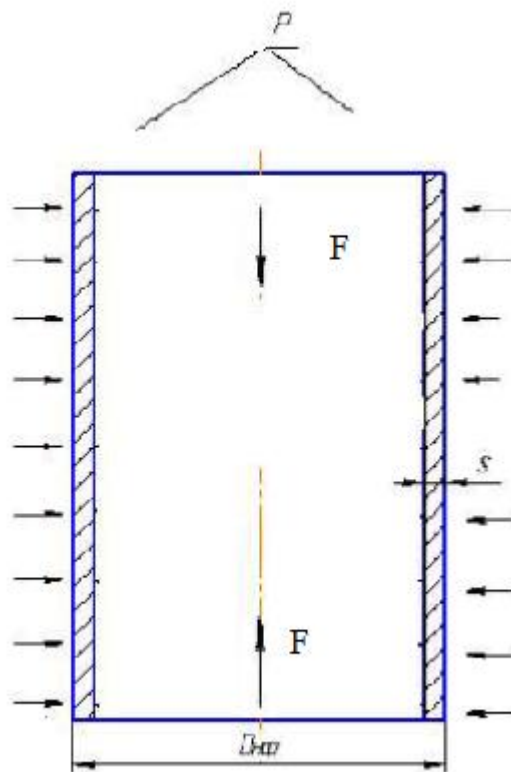


Рисунок 16 - Расчетная схема цилиндрической обечайки камеры №2

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

Исходные данные:

Высота камеры обечайки, мм;

$$H_{амм2} := 182$$

Диаметр камеры аппарата, мм;

$$D := 309$$

Температура газа в аппарате, °C;

$$t := 43$$

Давление в аппарате, МПа;

$$P_{атм} := 0.1$$

Наружное давление, МПа;

$$P_{нар} := 0.1$$

Давление взрывной волны, МПа;

$$P_{вз} := 0.9$$

Плотность жидкости в аппарате, кг/м³;

$$\rho_{ж} := 1000$$

Расчетные параметры:

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при наружном давлении определяется по формуле [17]:

Примем:

$$H_{амм2} := 182 \text{ мм}$$

$$s_p := \max \left[10^3 \cdot 1.06 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{D}{B} \cdot \left(\frac{P_{вз} \cdot H_{амм2}}{10^{-5} \cdot E \cdot D} \right)^{0.4}, 1.2 \cdot P_{внеш.исп} \cdot \frac{D \cdot 10^3}{(2 \cdot \sigma_{и} - P_p)} \right]$$

где коэффициент В рассчитывается по формуле [17]:

$$B := \max \left[1.0, 0.47 \cdot \left(\frac{P_p}{E \cdot 10^{-5}} \right)^{0.067} \cdot \left(\frac{H_{амм2}}{D} \right)^{0.4} \right]$$

Расчетное значение модуля упругости для стали 12Х18Н10Т при $t_p=43$ °C и при $t=20$ °C определяем методом интерполяции по данным из таблицы В.1 [16]:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad E := \begin{pmatrix} 1.99 \cdot 10^5 \\ 1.91 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E := \text{Floor}(\text{interp}(t, E, t_p), 0.5)$$

$$E := 1.969 \times 10^{11} \text{ Па}$$

значение модуля упругости аппарата при температуре 43 °C

$$E_{и} := 1.99 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

значение модуля упругости аппарата при температуре 20 °C [16]

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Тогда коэффициент В равен:

$$B := \max \left[1.0, 0.47 \cdot \left(\frac{P_p}{E \cdot 10^{-5}} \right)^{0.067} \cdot \left(\frac{H_{амп2}}{D} \right)^{0.4} \right] = 1$$

Примем давление при разряжении равным [13]:

$$P_{раз} := 2.6 \cdot 10^{-6} \text{ МПа}$$

Примем давление испытании при разряжении равным [21]:

$$P_{внеш.исп} := 0.2 \text{ МПа}$$

Тогда расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при наружном давлении:

$$s_p := \max \left[1.06 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{D}{B} \cdot \left(\frac{P_{раз} \cdot H_{амп2}}{10^{-5} \cdot E \cdot D} \right)^{0.4}, 1.2 \cdot P_{внеш.исп} \cdot \frac{D}{(2 \cdot \sigma_{и} - P_p)} \right] = 0.151 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки обечайки с учетом суммы прибавок:

$$s_{и2} := \text{Ceil}(s_p + c, 0.5) = 2 \text{ мм}$$

На основании расчетов принимаем минимальную исполнительную толщину стенки для данного диаметра по ГОСТ [20]:

$$s_{и2} := 8 \text{ мм}$$

Проверка условия:

$$\text{Проверка} := \begin{cases} \text{"условие применения формул выполняется"} & \text{if } \frac{s_{и2} - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка = "условие применения формул выполняется"

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$p_n := \frac{2 \cdot \sigma_{д1} \cdot (s_{и2} - c)}{D + (s_{и2} - c)} = 7.57 \text{ МПа}$$

Коэффициент В2 вычисляют по формуле:

$$B2 := \min \left[1, 9.45 \frac{D}{H_{амп2}} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s_{и2} - c)}} \right] = 1$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости:

$$(n_y) := 2.4 \text{ -коэффициент запаса устойчивости для рабочих условий [16]}$$

$$p_e := \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y \cdot B2} \cdot \frac{D}{H_{амп2}} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_{и2} - c)}{D} \right]^{2.5} = 1.932 \times 10^7 \text{ Па}$$

$$p_e := 20.19 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление рассчитывается по формуле:

$$p := \frac{pn}{\sqrt{1 + \left(\frac{pn}{pe}\right)^2}} = 7.088 \quad \text{МПа}$$

Осевое сжимающее усилие находится по формуле:

$$F := 0.25 \cdot \pi \cdot (D^2) \cdot p_{нар} = 7.499 \times 10^3 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности вычисляют по формуле:

$$F_{d\sigma} := \pi \cdot [D + (s_{n2} - c)] \cdot (s_{n2} - c) \cdot \sigma_{д1} = 1.184 \times 10^6 \text{ Н}$$

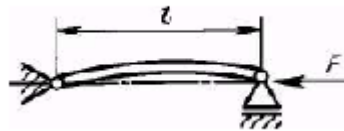


Рисунок 17 - Расчетная схема

Приведённую расчётную длину принимают по таблице 1 [17]:

$$l_{пр} := H_{ам2}$$

Гибкость λ вычисляется по формуле [17]:

$$\lambda := \frac{2.83 \cdot l_{пр}}{D + (s_{n2} - c) \cdot 10^{-3}} = 1.667$$

$$F_{dE} := \begin{cases} \text{if } \frac{H_{ам2}}{D} \geq 10 \\ \begin{cases} F_{dE1} \leftarrow 31 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[0.1 \cdot \frac{(s_{n2} - c)}{D} \right]^{2.5} \\ F_{dE2} \leftarrow \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{\pi \cdot [D + (s_{n2} - c) \cdot 10^{-3}] \cdot (s_{n2} - c) \cdot 10^{-3} \cdot E}{n_y} \\ F_{dE} \leftarrow \min(F_{dE1}, F_{dE2}) \end{cases} \\ F_{dE} \leftarrow 31 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[0.1 \cdot \frac{(s_{n2} - c)}{D} \right]^{2.5} \quad \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{dE} = 5.12 \times 10^5 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие вычисляют по формуле [17]:

$$F_d := \frac{F_{d\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{d\sigma}}{F_{dE}}\right)^2}}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие равно:

$$F_d := \frac{F_{d\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{d\sigma}}{F_{dE}}\right)^2}} = 4.7 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Проверка условия устойчивости:

$$\text{prov}_2 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{P_{нар}}{P} + \frac{F}{F_d} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{P_{нар}}{P} + \frac{F}{F_d} = 0.03$$

prov_2 = "Условие устойчивости выполняется"

2.5.4 Расчет цилиндрической обечайки при гидроиспытаниях

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$P_{гидр} := 0.2 \text{ МПа}$ - для аппаратов и трубопроводов, работающих под вакуумом, давление испытаний принимается равным 0,2 МПа [21].

$$s_{риск} := \frac{P_{гидр} \cdot D}{2 \cdot \varphi_p \cdot \sigma_H - P_{гидр}} = 0.125 \quad \text{мм}$$

$$s_{исп} := s_{риск} + c = 1.525 \quad \text{мм}$$

На основании расчетов принимаем минимальную исполнительную толщину стенки для данного диаметра по ГОСТ [20]:

$$s_{исп} := 8 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_{исп} - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров_3 = "Условия применения формул выполняются"

Допускаемое внутреннее избыточное давление при условиях испытаний:

$$P_{д.исп} := \frac{1.8 \cdot \sigma_H \cdot \varphi_p \cdot (s_{исп} - c)}{D + (s_{исп} - c)} = 9.279 \quad \text{МПа}$$

					Механический расчет	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\text{Пров}_{\text{зисп}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"} & \text{if } P_{\text{д1исп}} > P_{\text{гидр}} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{зисп}} = \text{"Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"}$$

Осевое растягивающее усилие при условиях испытаний находится по формуле [17]:

$$F_{\text{н}} := 0.25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot P_{\text{гидр}} = 1.5 \times 10^4 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие из условия прочности находится по формуле [17]:

$$F_{\text{н.дс}} := \pi \cdot [D + (s_{2\text{исп}} - c)] \cdot (s_{2\text{исп}} - c) \cdot \sigma_{\text{н}} = 1.613 \times 10^6 \text{ Н}$$

$$F_{\text{н.дс}} > F_{\text{н}} (1.613 \times 10^6 > 1.5 \times 10^4) \text{ условия выполняются}$$

Из расчетов видно, что принятая исполнительная толщина стенки с запасом обеспечивает надежность конструкции аппарата. С целью удешевления конструкции обечайка будет сделана из трубы.

2.6 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки (позиция 5)

Целью данного расчета является определение толщины стенки распределительной камеры, которая будет обеспечивать прочность конструкции.

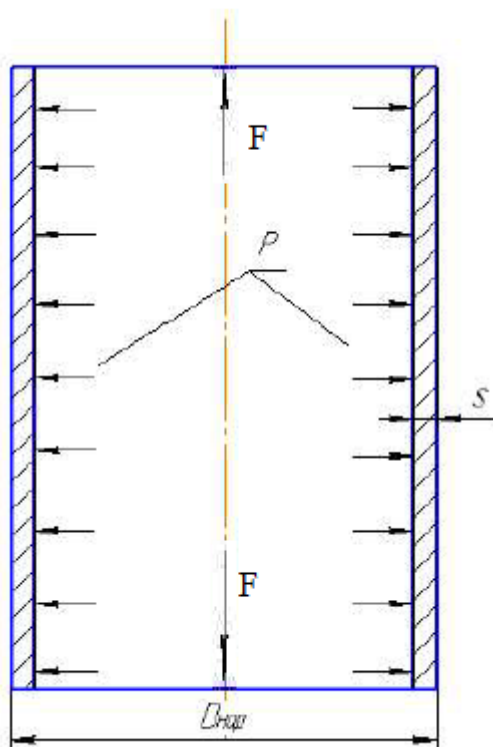


Рисунок 18 - Расчетная схема цилиндрической обечайки камеры №3

Исходные данные:

Высота камеры обечайки, мм;

$$H_{\text{app2}} := 200$$

Диаметр камеры аппарата, мм;

$$D := 309$$

Температура газа в аппарате, °C;

$$t := 25$$

Давление в аппарате, МПа;

$$P_{\text{app}} := 0.1$$

Из расчета изменения температуры при взрыве примем максимальную температуру в аппарате:

$$t_p := \max(t, 20) \quad t_p := 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение для материала 12X18H10T при рабочей температуре интерполируется по таблице А.3[16]:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 184 \\ 174 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_d := \text{Floor}(\text{interp}(t, \sigma, t_p), 0.5)$$

допускаемое напряжение при рабочей температуре t_p

$$\sigma_d = 183 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение материала 12X18H10T при температуре 20 °C, которое определили по таблице [16]

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа}$$

Поправочный коэффициент η к допускаемому напряжению должен быть равен единице, так как аппарат изготавливается из листового проката, определим по таблице 1 [17].

$\eta := 1$ коэффициент номинального уменьшения допустимого нагружения.

Тогда допускаемое напряжение для материала 12X18H10T с учетом коэффициента номинального уменьшения допустимого нагружения рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{d1} := \eta \cdot \sigma_d = 183 \text{ МПа}$$

Расчетное значение предела текучести для стали 12X18H10T при $t_p=25$ °C определяем методом интерполяции по данным из таблицы Б.7 [16]:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad R_e := \begin{pmatrix} 276 \\ 261 \end{pmatrix}$$

					Механический расчет	Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$R_e := \text{Floor}(\text{interp}(t, R_e, t_p), 0.5)$$

$$R_e = 275 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 12X18H10T при гидравлических испытаниях рассчитывается по формуле [17]:

$$\sigma_{\text{д}} := \frac{R_e}{n}$$

где

$n := 1.1$ коэффициент запаса прочности при гидравлическом испытании, который определили по таблице 1 [17]

Тогда допускаемое напряжение для стали 12X18H10T при гидравлических испытаниях:

$$\sigma_{\text{д}} := \text{Floor}\left(\frac{R_e}{n}, 0.5\right) = 249.5 \text{ МПа}$$

Примем коэффициент прочности сварных швов для бесшовных элементов согласно [16, с. 7]:

$$\varphi_{\text{с}} := 1$$

Расчетное давление в аппарате:

$$P_{\text{р}} := P_{\text{атм}}$$

Расчетное давление в аппарате:

$$P_{\text{р3}} := P_{\text{атм}} = 0.1 \text{ МПа}$$

Давление при гидравлическом испытании определяем по формуле 3.1 [17]:

$$P_{\text{и.о}} := 1.25 \cdot P_{\text{р3}} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_{\text{д}}}$$

Давление при гидравлическом испытании:

$$P_{\text{и.о}} := 1.25 \cdot P_{\text{р3}} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_{\text{д}}} = 0.126 \text{ МПа}$$

2.6.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении определяется по формуле [17]:

					Механический расчет	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$s_p := \max \left[P_{p3} \cdot \left(\frac{D}{2 \cdot \varphi_p \cdot \sigma_{20} - P_{p3}} \right), \frac{(P_{н.о} \cdot D)}{1.8 \cdot \varphi_p \cdot \sigma_{н} - P_{н.о}} \right]$$

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_p := \max \left[P_{p3} \cdot \left(\frac{D}{2 \cdot \varphi_p \cdot \sigma_{20} - P_{p3}} \right), \frac{(P_{н.о} \cdot D)}{1.8 \cdot \varphi_p \cdot \sigma_{н} - P_{н.о}} \right] = 0.086 \text{ мм}$$

Прибавку к расчетным толщинам вычисляют по формуле [18]:

$$c := c_1 + c_2 + c_3$$

где

$$\Pi := 0.10 \text{ мм/год}$$

скорость коррозии (12X18H10T) [19]

$$\tau := 10 \text{ лет}$$

срок эксплуатации

$$c_1 := \Pi \cdot \tau = 1 \text{ мм}$$

прибавка для компенсации коррозии (эрозии)

$$c_2 := 0.4 \text{ мм}$$

прибавка на минусовое отклонение от стандартного сортамента [22]

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

прибавка на утонение стенки элемента сосуда при технологических операциях [22]

Тогда прибавка к расчетным толщинам равна:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 1.4 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки обечайки с учетом суммы прибавок [17]:

$$s_{н1} := \text{Ceil}(s_p + c, 0.5) = 1.5 \text{ мм}$$

На основании расчетов принимаем минимальную исполнительную толщину стенки для данного диаметра по ГОСТ [20]:

$$s_1 := 8 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_1 = \text{"Условия применения формул выполняются"}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при рабочих условиях:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{д1} \cdot \varphi_p \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 7.654 \text{ Мпа}$$

					Механический расчет	Лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Пров₂ := $\begin{cases} \text{"Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_{р3} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Пров₂ = "Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"

Допускаемое внутреннее избыточное давление при условиях испытаний:

$$P_{д1и} := \frac{1.8 \cdot \sigma_{и} \cdot \varphi_p \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 9.392 \text{ МПа}$$

Пров_{2и} := $\begin{cases} \text{"Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д1и} > P_{и.о} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Пров_{2и} = "Условие прочности для цилиндр. обечайки выполняется"

2.6.2 Расчет осевого растягивающего усилия при рабочих условиях и условиях испытания

-при рабочих условиях:

Расчетное осевое растягивающее усилие равно

$$F := \frac{P_{р3} \cdot \pi \cdot D^2}{4} = 7.499 \times 10^3 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие по формуле [17]

$$[F] := \pi \cdot (D + s_1 - c) \cdot (s_1 - c) \cdot \varphi_p \cdot \sigma_{д1} = 1.198 \times 10^6 \text{ Н}$$

$$F < [F] \quad (7.499 \times 10^3 < 1.198 \times 10^6) \text{ условия выполняются}$$

-при условиях испытаний:

Осевое растягивающее усилие находится по формуле [17]:

$$F_{и} := 0.25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot P_{и.о} = 9.425 \times 10^3 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое растягивающее усилие из условия прочности находится по формуле [17]:

$$F_{и.д\sigma} := \pi \cdot (D + s_1 - c) \cdot (s_1 - c) \cdot \sigma_{и} = 1.633 \times 10^6 \text{ Н}$$

$$F_{и.д\sigma} > F_{и} \quad (1.633 \times 10^6 > 9.425 \times 10^3) \text{ условия выполняются}$$

На основании расчетов по ГОСТ [20] принимаем минимальную исполнительную толщину стенки для данного диаметра:

$$s_1 := 8 \text{ мм}$$

Из расчетов видно, что принятая исполнительная толщина стенки с запасом обеспечивает надежность конструкции аппарата. С целью удешевления конструкции обечайка будет сделана из трубы.

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

2.7 Расчет толщины стенки эллиптического днища (позиция 1)

Целью данного расчета является определение толщины эллиптического днища, которое будет обеспечивать прочность конструкции.

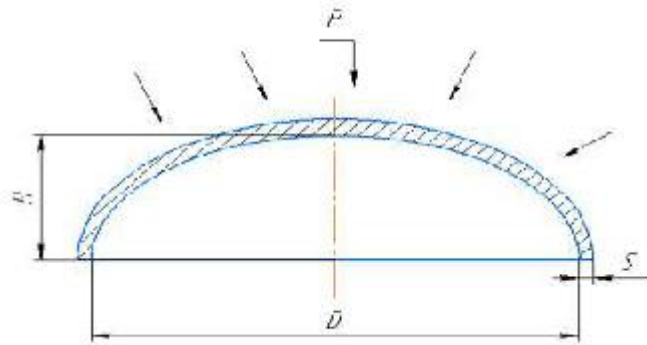


Рисунок 19 - Расчетная схема эллиптического днища

Исходные данные:

Принимаем днища по [18]: 300x8х-25-12X18Н10Т

Внутренний диаметр днища, мм :

$$D := 309$$

Наружное давление, МПа;

$$P_{нар} := 0.1$$

Расчетные параметры:

Радиус кривизны в вершине днища:

для эллиптических днищ с $R := D$ $K_{э} := 0.9$

-определяем по рис. 9 [17]

$$H := 0.25D$$

$$H = 77.25 \text{ мм}$$

2.7.1 Расчет толщины стенки эллиптического днища при наружном давлении:

Находим толщину стенки по формулам:

$$S_{p2} := \max \left(\frac{K_{э} \cdot R}{161} \cdot \frac{n_y \cdot P_{нар}}{10^{-5} \cdot E}, \frac{1.2 \cdot P_{нар} \cdot R}{2 \cdot \sigma_{д1}} \right) = 0.101 \text{ мм}$$

$$s_{э.к} := \text{ceil}(S_{p2} + c) = 2 \text{ мм}$$

Исходя из того, что минимальная толщина для днища при данном диаметре это 8 мм, принимаем толщину:

$$s_3 := 8 \text{ мм}$$

					Механический расчет	Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Проверка условия применения формул для эллиптической крышки:

$$\text{Пров}_4 := \begin{cases} \text{"условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_3 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₄ = "условие применения формул выполняется"

Допускаемое наружное давление при рабочих условиях:

из усл. прочности:

$$P_{ркп} := \frac{2 \cdot \sigma_{д1} \cdot (s_3 - c)}{R + 0.5 \cdot (s_3 - c)} = 7.735 \text{ МПа}$$

из усл. устойчивости:

$$P_{ркЕ} := \frac{2.6 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot \frac{100 \cdot (s_3 - c)}{Kэ \cdot R} = 5.062 \times 10^6 \text{ Па}$$

$$P_{ркЕ} := 5.21 \text{ МПа}$$

$$P_{рк} := \frac{P_{ркп}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_{ркп}}{P_{ркЕ}} \right)^2}} = 4.321 \text{ МПа}$$

$P_{рк} > P_{нар}$ ($4.36 > 0.1$) -условие выполняется

2.7.2 Расчет толщины стенки эллиптического днища при внутреннем давлении:

$P_{гидр} := 0.2 \text{ МПа}$ -для аппаратов и трубопроводов, работающих под вакуумом давление испытаний принимается равным 0,2 МПа [21].

Расчетная толщина стенки при внутреннем избыточном давлении:

$$S_{р2исп} := \frac{P_{гидр} \cdot R}{2 \cdot \varphi_p \cdot \sigma_{и} - P_{гидр}} = 0.124 \text{ мм}$$

$$s_{э.кисп} := \text{ceil}(S_{р2исп} + c) = 2 \text{ мм}$$

Исходя из того, что минимальная толщина для днища при данном диаметре это 8 мм, принимаем толщину:

$$s_{зисп} := 8 \text{ мм}$$

					Механический расчет	Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Допускаемое давление при гидроиспытаниях:

$$p_d := \frac{1.8 \cdot (s_{3\text{исп}} - c) \cdot \varphi_p \cdot \sigma_H}{R + 0.5 \cdot (s_{3\text{исп}} - c)} = 9.491 \text{ Мпа}$$

$$p_d > p_{\text{гидр}} (9.491 > 0.2) \text{ -условие выполняется}$$

Из расчетов видно, что принятая исполнительная толщина стенки с запасом обеспечивает надежность конструкции аппарата.

2.8 Расчет перегородок из органического стекла (позиция 7)

Целью данного расчета является определение толщины перегородки из органического стекла, которое будет обеспечивать прочность конструкции.

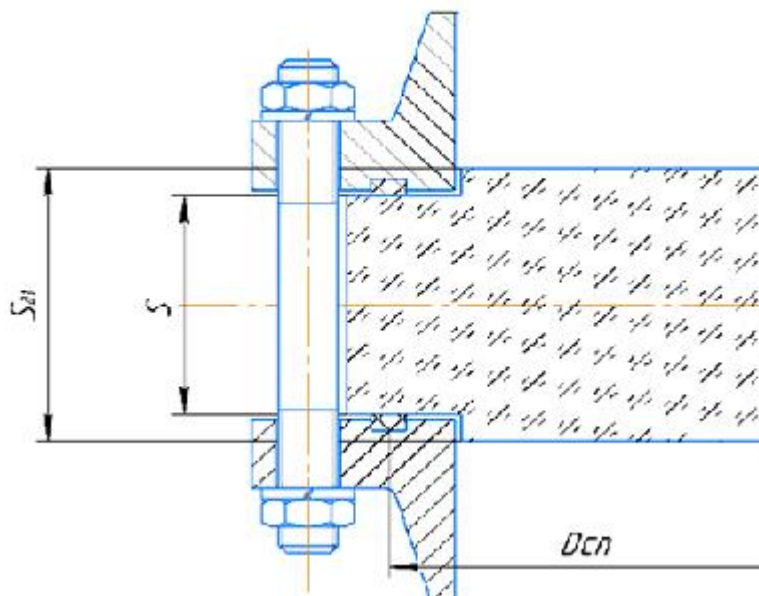


Рисунок 20 - Расчетная схема перегородок

За расчет толщин перегородок возьмем расчет плоского круглого днища:

Исходные данные для расчета плоского днища:

Исходные данные:

Диаметра обечайки, мм;

$$D := 300$$

Наружный диаметр прокладки, мм [23];

$$D_{\text{н.прокл}} := 357$$

Внутренний диаметр прокладки, мм [23];

$$D_{\text{вн.прокл}} := 345$$

Средний диаметр прокладки, мм [23];

$$D_{\text{сп}} := 351$$

Толщина прокладки, мм [23];

$$s_{\text{п}} := 2$$

					Механический расчет	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Наружный диаметр аппарата, мм;

$$D_H := 316$$

Допускаемое напряжение органического стекла, МПа [24];

$$\sigma_{дн} := 110$$

Прибавка для компенсации коррозии (эрозии) (принимается такое значение для того, чтобы толщина днища была больше толщины стенок аппарата), мм [24];

$$c_d := 3$$

Давление внутри аппарата, МПа;

$$P_p := 1$$

Исходя из таблицы 4 ГОСТа [17] расчетный диаметр крышки будет равен среднему диаметру прокладки:

$$D_p := D_{сп}$$

$$K := 0.41 \quad \text{коэффициент конструкции плоских днищ и крышек}$$

$$K_0 := 1.0 \quad \text{коэффициент ослабления плоских крышек отверстием}$$

Толщина плоского круглого днища аппарата, который работает под внутренним избыточным или наружным давлением, рассчитывается по формуле [17]:

$$s_{д1} \geq s_{1д} + c_d$$

где по формуле [17]

$$s_{1д} := K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\varphi_p \cdot \sigma_{дн}}}$$

Так как в нашем днище отсутствуют отверстия, то поправочный коэффициент ослабления K_0 принимается равной 1,0. Наша формула принимает вид [17]:

$$K_0 := 1.0$$

Расчетная толщина днища:

$$s_{1д} := K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\varphi_p \cdot \sigma_{дн}}} = 13.721 \quad \text{мм}$$

Толщина плоского круглого днища аппарата с учетом прибавок:

$$s_{д1} := \text{Ceil}(s_{1д} + c_d, 0.5) = 17 \quad \text{мм}$$

Толщина $s_{2д}$ для типа соединения 12 (таблица 4 [17]) определяют по формуле [17]:

$$s \geq \max \left[0.7 \cdot (s_d - c_d), (s_d - c_d) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (D_p - D) \cdot D}{D_p^2}} \right] + c_d$$

					Механический расчет	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Толщина s_{2p} для типа соединения 12 типа соединения:

$$s := \max \left[0.7 \cdot (s_{d1} - c_d), (s_{d1} - c_d) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (D_p - D) \cdot D}{D_p^2}} \right] + c_d = 12.8 \text{ мм}$$

Учитывая то, что органическое стекло является хрупким материалом, то примем толщину перегородок стандартным равным 100 мм и 80 мм по ГОСТ [24]

2.9 Расчет перегородок из органического стекла для смотрового окна (позиция 8)

Целью данного расчета является определение толщины перегородки из органического стекла для смотрового окна, которое будет обеспечивать прочность конструкции.



Рисунок 21 - Расчетная схема перегородок

За расчет толщин перегородок возьмем расчет плоского круглого днища:

Исходные данные для расчета плоского днища:

Исходные данные:

Диаметра обечайки, мм;

$$D := 150$$

Наружный диаметр прокладки, мм [23];

$$D_{н.прокл} := 192$$

Внутренний диаметр прокладки, мм [23];

$$D_{вн.прокл} := 178$$

Средний диаметр прокладки, мм [23];

$$D_{ср} := 185$$

Толщина прокладки, мм [23];

$$s_{д} := 4$$

Наружный диаметр аппарата, мм;

$$D_{н} := 162$$

Допускаемое напряжение органического стекла, МПа [24];

$$\sigma_{дн} := 110$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

Прибавка для компенсации коррозии (эрозии) (принимаем такое значение для того, чтобы толщина днища была больше толщины стенок аппарата), мм [24]; $c_d := 3$

Давление внутри аппарата, МПа; $P_p := 1$

Исходя из таблицы 4 ГОСТа [17] расчетный диаметр крышки будет равен среднему диаметру прокладки:

$$D_p := D_{cp}$$

$$K := 0.41$$

коэффициент конструкции плоских днищ и крышек

$$K_0 := 1.0$$

коэффициент ослабления плоских крышек отверстием

Толщина плоского круглого днища аппарата, который работает под внутренним избыточным или наружным давлением, рассчитывается по формуле [17]:

$$s_{d1} \geq s_{1d} + c_d$$

где по формуле [14]:

$$s_{1d} := K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\varphi_p \cdot \sigma_{дн}}}$$

Так как в нашем днище отсутствуют отверстия, то поправочный коэффициент ослабления K_0 принимается равной 1,0. Наша формула принимает вид [17]:

$$K_0 := 1.0$$

Расчетная толщина днища:

$$s_{1d} := K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\varphi_p \cdot \sigma_{дн}}} = 7.232 \text{ мм}$$

Толщина плоского круглого днища аппарата с учетом прибавок:

$$s_{d1} := \text{Ceil}(s_{1d} + c_d, 0.5) = 10.5 \text{ мм}$$

Толщина s для типа соединения 12 (таблица 4 [17]) определяют по формуле [17]:

$$s \geq \max \left[0.7 \cdot (s_{d1} - c_d), (s_{d1} - c_d) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (D_p - D) \cdot D}{D_p^2}} \right] + c_d$$

Толщина s для типа соединения 12 типа соединения:

$$s := \max \left[0.7 \cdot (s_{d1} - c_d), (s_{d1} - c_d) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (D_p - D) \cdot D}{D_p^2}} \right] + c_d = 8.25 \text{ мм}$$

Учитывая то, что органическое стекло является хрупким материалом, то примем толщину перегородок стандартным равным 50 мм и 30 мм по ГОСТ [24].

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

2.10 Расчет плоской крышки смотрового окна (позиция 9)

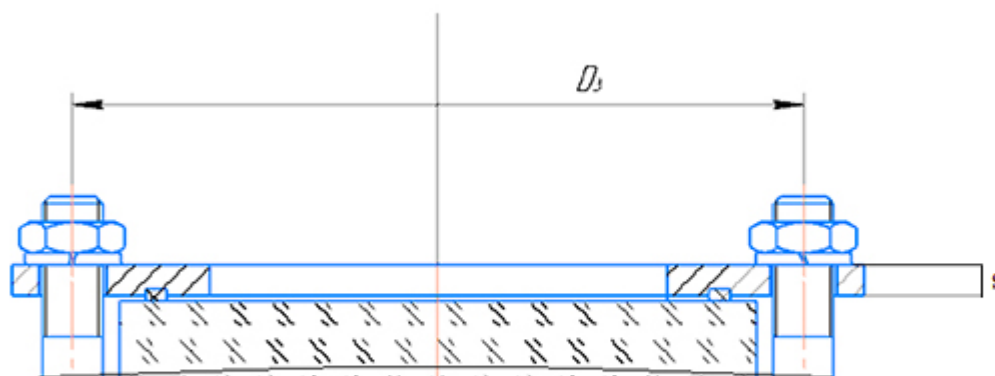


Рисунок 22 - Расчетная схема плоской крышки

Исходные данные:

Диаметра обечайки, мм; $D := 150$

Наружный диаметр прокладки, мм [23]; $D_{н.прокл.} := 192$

Внутренний диаметр прокладки, мм [23]; $D_{вн.прокл.} := 178$

Средний диаметр прокладки, мм [23]; $D_{сп.} := 185$

Толщина прокладки, мм [23]; $s_{п.} := 4$

Наружный диаметр аппарата, мм; $D_{н.} := 162$

Давление внутри аппарата, МПа; $P_{вн.} := 1$

Допускаемое напряжение органического стекла, МПа; $\sigma_{окно} := 181$

Прибавка для компенсации коррозии (эрозии) (принимается такое значение для того, чтобы толщина днища была больше толщины стенок аппарата), мм [16]; $s_{д.} := 1.4$

Исходя из таблицы 4 ГОСТа [17] расчетный диаметр крышки будет равен среднему диаметру прокладки: $D_3 := 240$

$D_p := D_3 = 240$

$K := 0.40$ коэффициент конструкции крышки

$K_0 := 1.0$ коэффициент ослабления плоских крышек отверстием

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

Толщина плоской круглой крышки аппарата, который работает под внутренним избыточным или наружным давлением, рассчитывается по формуле [17]:

$$s_d \geq s_{1d} + c_d$$

где по формуле [14]:

$$s_{1d} := K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\varphi_p \cdot \sigma_{дн}}}$$

Так как в нашем днище отсутствуют отверстия, то поправочный коэффициент ослабления K_0 принимается равной 1,0. Наша формула принимает вид [17]:

$$K_0 := 1.0$$

Толщина плоской круглой крышки аппарата, который работает под внутренним избыточным или наружным давлением, рассчитывается по формуле [17]:

$$s_d := s_{1d} + c_d = 10.553 \text{ мм}$$

Толщина s для типа соединения 11 определяют по формуле [17]:

$$s \geq \max \left[0.7 \cdot (s_d - c_d), (s_d - c_d) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (D_p - D) \cdot D}{D_p^2}} \right] + c_d$$

Толщина s для типа соединения 11 типа соединения:

$$s_d := \max \left[0.7 \cdot (s_d - c_d), (s_d - c_d) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (D_p - D) \cdot D}{D_p^2}} \right] + c_d = 7.807 \text{ мм}$$

Пусть

$$s_d := s = 7.807 \text{ мм}$$

Исходя из конструктивных соображений, выбираем толщину крышки равной 10 мм. Данная толщина обеспечит надежность конструкции.

					Механический расчет	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.11 Расчет патрубков

Цель расчета - проверка достаточной толщины патрубка и определение максимального давления, которое данный патрубок может выдержать

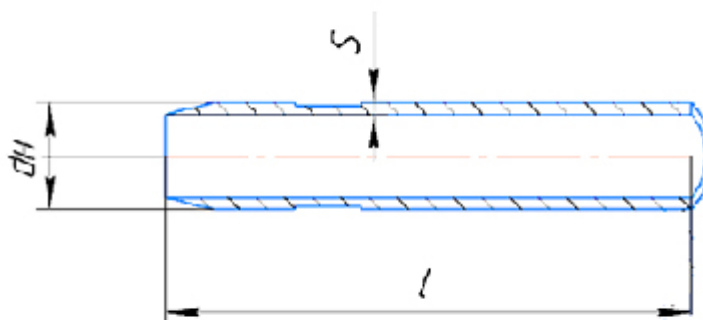


Рисунок 23 - Патрубок для воды и газа

Исходные данные:

Диаметр выходного патрубка для вакуумирования воздуха, мм: $d_{\text{газ}} := 25$

Диаметр входного патрубка для воды, мм: $d_{\text{вода}} := 32$

Рабочая температура газа, °C: $t_{\text{газ}} := 25$

Рабочая температура воды, °C: $t_{\text{вода}} := 43$

Длину патрубка назначаем конструктивно (чтобы было легко монтировать аппарат, и не было трудностей при его транспортировке)

Длина патрубка для вакуумирования, мм: $l_{\text{газ}} := 150$

Длина патрубка для подачи воды, мм: $l_{\text{вода}} := 150$

Расчетное давление в трубах в рабочих условиях для газа, МПа: $P_{\text{рас2}} := 0.5$

Расчетное давление в трубах для подачи воды, МПа: $P_{\text{рас1}} := 0.9$

Давление испытания в трубах для подачи воды, МПа: $P_{\text{и2}} := 1.271$

					Механический расчет	Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.11.1 Расчет толщины стенки патрубка для газа:

Расчетная толщина стенки патрубка для газа, согласно [17]:

$$s_{p4} := \max \left(\frac{P_{рас2} \cdot d_{газ}}{2 \cdot \varphi_p \cdot \sigma_{д1} - P_{рас2}}, \frac{P_{гидр} \cdot d_{газ}}{2 \cdot \varphi_p \cdot \sigma_{и} - P_{гидр}} \right) = 0.034 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки патрубка:

$$s_{и4} := s_{p4} + c = 1.434 \text{ мм}$$

Принимаем толщину патрубка исходя из [14]:

$$s_{патруб1} := 3.5 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров1} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_{патруб1} - c}{d_{газ}} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров1} = \text{"Условия применения формул выполняются"}$$

Расчет допускаемого избыточного давления:

$$P_{д4} := \frac{2 \cdot \sigma_{д1} \cdot \varphi_p \cdot (s_{патруб1} - c)}{d_{газ} + (s_{патруб1} - c)} = 28.362 \text{ МПа}$$

$$\text{Пров2} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки патрубка для воды выполняется"} & \text{if } P_{д4} > P_{гидр} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров2} = \text{"Условие прочности стенки патрубка для воды выполняется"}$$

2.11.2 Расчет толщины стенки патрубка для воды:

Расчетная толщина стенки патрубка вакуумирования, согласно [17]:

$$s_{p5} := \max \left(\frac{P_{рас2} \cdot d_{вода}}{2 \cdot \varphi_p \cdot \sigma_{д1} - P_{рас2}}, \frac{P_{и2} \cdot d_{вода}}{2 \cdot \varphi_p \cdot \sigma_{и} - P_{и2}} \right) = 0.082 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки патрубка:

$$s_{и5} := s_{p5} + c = 1.482 \text{ мм}$$

Принимаем толщину патрубка исходя из [14]:

$$s_{патруб2} := 3.5 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров3} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_{\text{патруб2}} - c}{d_{\text{вода}}} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров3 = "Условия применения формул выполняются"

Расчет допускаемого избыточного давления:

$$P_{\text{д5}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д1}} \cdot \varphi_{\text{р}} \cdot (s_{\text{патруб2}} - c)}{d_{\text{вода}} + (s_{\text{патруб2}} - c)} = 22.54 \text{ МПа}$$

$$\text{Пров4} := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки патрубка для воды выполняется"} & \text{if } P_{\text{д5}} > P_{\text{н2}} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров4 = "Условие прочности стенки патрубка для воды выполняется"

2.11.3 Укрепление отверстий:

Расчетный диаметр укрепляемых элементов:

Для цилиндрической оболочки:

$$D_{\text{р}} := 325 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстий в стенках обечайки, ось которого совпадает с нормалью к поверхности:

$$d_{\text{газ}} := d_{\text{газ}} + 2 \cdot c = 27.8 \text{ мм}$$

$$d_{\text{рвода}} := d_{\text{вода}} + 2 \cdot c = 34.8 \text{ мм}$$

Расчетные длины внешней части круглого штуцера, участвующие в укреплении отверстий и учитываемые при расчете, определяют по формулам:

Расчетная длина внешней части штуцеров:

$$l_{\text{газ}} := 1.25 \sqrt{(d_{\text{газ}} + 2 \cdot c) \cdot (s_{\text{патруб1}} - c)} = 9.551 \text{ мм}$$

$$l_{\text{вода}} := 1.25 \sqrt{(d_{\text{вода}} + 2 \cdot c) \cdot (s_{\text{патруб2}} - c)} = 10.686 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления отверстий вычисляют по формуле:

газ:

$$d_{0\text{г}} := 2 \cdot \left[\left(\frac{s_1 - c}{s_{\text{р4}}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_{\text{р}} \cdot (s_1 - c)} = 1.78 \times 10^4 \text{ мм}$$

вода:

$$d_{0\text{г}} := 2 \cdot \left[\left(\frac{s_1 - c}{s_{\text{р5}}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_{\text{р}} \cdot (s_1 - c)} = 7.407 \times 10^3 \text{ мм}$$

					Механический расчет	Лист
						65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Проверка условий расчета укрепления отверстий:

газ:

$\text{пров3} := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_{0x} \geq d_{\text{ргаз}} \\ \text{"требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

пров3 = "НЕ требуется укрепление отверстий"

вода:

$\text{пров3} := \begin{cases} \text{"НЕ требуется укрепление отверстий"} & \text{if } d_{0r} \geq d_{\text{рвода}} \\ \text{"требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

пров3 = "НЕ требуется укрепление отверстий"

В данном расчете нашли допускаемую толщину патрубка. Укрепление отверстий не требуется.

2.12 Расчет патрубка для окна (позиция Д)

Цель расчета - проверка достаточной толщины патрубка и определение максимального давления, которое данный патрубок может выдержать

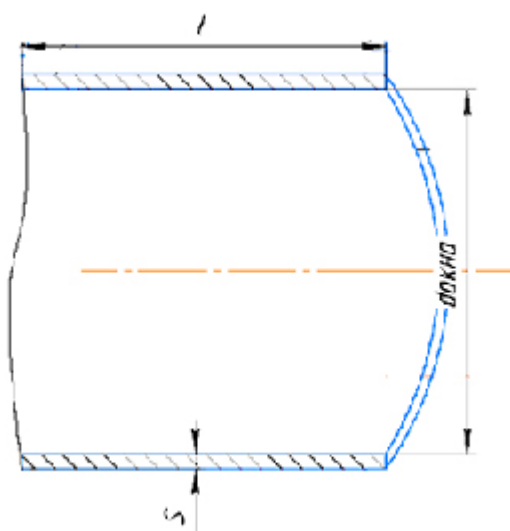


Рисунок 24 - Патрубок для окна

Исходные данные:

Диаметр выходного патрубка для вакуумирования воздуха, мм:

$$d_d := 150$$

Рабочая температура воды, °C:

$$t_{\text{вода}} := 43$$

Длину патрубка назначаем конструктивно (чтобы было легко монтировать аппарат, и не было трудностей при его транспортировке)

Длина патрубка для окна, мм:

$$l_n := 150$$

Расчетное давление в трубе смотрового окна, МПа :

$$P := 0.9$$

Давление испытания в трубе смотрового окна, МПа:

$$P_{\text{ис}} := 1.271$$

					Механический расчет	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

2.12.1 Расчет толщины стенки патрубка для окна:

Расчетная толщина стенки патрубка окна при внешнем избыточном давлении, согласно [17]:

$$s_{p6} := \max \left(\frac{P \cdot d_d}{2 \cdot \sigma_{d1} \cdot \varphi_p - P}, \frac{P_{и2} \cdot d_d}{2 \cdot \sigma_{и1} \cdot \varphi_p - P_{и2}} \right) = 0.383 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки патрубка:

$$s_{и1} := s_{p6} + c = 1.783 \text{ мм}$$

Принимаем толщину патрубка [14]:

$$s_{патруб1} := 6 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_7 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_{патруб1} - c}{d_d} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_7 = \text{"Условия применения формул выполняются"}$$

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д4} := \frac{2 \cdot \sigma_{д1} \cdot \varphi_p \cdot (s_{патруб1} - c)}{d_d + (s_{патруб1} - c)} = 10.89 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления:

$$\text{Пров}_8 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки для патрубков выполняется"} & \text{if } P_{д4} > P_{и2} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_8 = \text{"Условие прочности стенки для патрубков выполняется"}$$

2.12.2 Укрепление отверстий:

Расчетный диаметр укрепляемых элементов:

Для цилиндрической оболочки:

$$D_p := 325 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстий в стенках обечайки, ось которого совпадает с нормалью к поверхности:

$$d_{рд} := d_d + 2 \cdot c = 152.8 \text{ мм}$$

$$d_{0х} := 250 \text{ мм}$$

Расчетные длины внешней части круглого штуцера, участвующие в укреплении отверстий и учитываемые при расчете, определяют по формулам:

Расчетная длина внешней части штуцеров:

$$l_{окно} := 1.25 \sqrt{(d_d + 2 \cdot c) \cdot (s_{патруб1} - c)} = 33.14 \text{ мм}$$

					Механический расчет	Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

					<div style="text-align: center;"> <h1>Механический расчет</h1> </div>	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Исходные данные:

Внутренний диаметр распределительной камеры, мм: $\underline{D} := 309$

Наружное давление действующее на фланец, МПа: $\underline{P} := 0.1$

Число болтов: $\underline{n} := 12$

Прибавка на коррозию, мм: $c_o := 2$

Максимальная температура среды, °C: $t := 43$

Изгибающий момент, Н*мм: $M := 0$

Сжимающее усилие, Н: $\underline{F} := 0$

Принимаем фланец типа 3 по табл.21.12 [18]

$\underline{D_H} := 440$ мм

$D_6 := 400$ мм

$d := 20$ мм

Измерено на чертеже:

$h := 25$ мм

$S_0 := 8$ мм

$S_1 := 21$ мм

$\underline{l} := 67$ мм

Выбираем прокладку типа Д по табл.4 [22]

$D_{np} := 357$ мм

$b_n := 12$ мм

$h_n := 6$ мм

Согласно рекомендациям по табл.21.14 [26] :

Материал обечаек и фланцев - сталь 12X18H10T

Материал шпилек сталь 25X1МФ

Материал прокладки - паронит ПОН.

					Механический расчет	Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.13.1 Основные расчетные значения:

Расчетные температуры

- расчетная температура неизолированных приварных встык фланцев по табл. В1 [25]

$$t_{\Phi} := 0.96 \cdot t \quad t_{\Phi} = 41.28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- расчетная температура шпилек по табл. В1 [25]

$$t_6 := 0.85 \cdot t \quad t_6 := 36.55 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 25Х1МФ по табл Г1 [16]

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 238 \\ 227 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{д.6} := \text{linterp}(t, \sigma, t_6)$$

$$\sigma_{д.6} = 235.724 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для шпилек из стали 25Х1МФ при расчетной температуре t_6 по табл Ж1 [12]

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad E_6 := \begin{pmatrix} 2.15 \cdot 10^5 \\ 2.12 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E_6 := \text{linterp}(t, E_6, t_6)$$

$$E_6 = 2.144 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для шпилек при $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ по табл Г [16]

$$\sigma_{206} := 238 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для шпилек при температуре испытания $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ по табл Ж1 [16]

$$E_{206} := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 25Х1МФ при $t = 20\text{-}200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ по табл Ж2[16]

$$\alpha_6 := 12.7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 12Х18Н10Т при $43 \text{ }^{\circ}\text{C}$ по [16]

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma = \begin{pmatrix} 238 \\ 227 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{linterp}(t, \sigma, t_{\Phi})$$

$$\sigma = 235.074 \text{ МПа}$$

					Механический расчет	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Так как фланцы изготавливается из листового проката

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{д.ф} := \eta \cdot \sigma$$

$$\sigma_{д.ф} = 235.074 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для фланцев из стали 12X18H10T при расчетной температуре по [16]

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix} \quad E := \begin{pmatrix} 1.99 \cdot 10^5 \\ 1.91 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E := \text{linterp}(t, E, t_{ф})$$

$$E = 2.084 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 12X18H10T при $t = 20^\circ\text{C}$ по [16]

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д20} := \eta \cdot \sigma_{20}$$

$$\sigma_{д20} = 184 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 12X18H10T при температуре испытания 20°C по [16]

$$E_{20} := 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 12X18H10T при $t = 20 - 200^\circ\text{C}$ по [16]

$$\alpha_{ф} := 16.6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

Номинальное допускаемое напряжение для шпилек из стали 25X1МФ при $t = 20^\circ\text{C}$ по табл Г1 [16]

$$\sigma_{дбн} := \sigma_{206} = 238 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 25X1МФ при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания вычисляются по формулам Г3 и Г4 [25]:

$$\xi := 1.2$$

Коэффициент условий работы:

- для рабочих условий

$$K_{у.р} := 1$$

- для условий испытания

$$K_{у.р.и} := 1.35$$

					Механический расчет	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Коэффициент условий затяжки при обычной неконтролируемой затяжке:

$$K_{y,z} := 1$$

Коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций при расчете фланцев с учетом нагрузки от температурных деформаций

$$K_{y,t} := 1.3$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 25Х1МФ при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания вычисляют по формулам Г3 и Г4 [25] :

$$\sigma_{дбм} := \xi \cdot K_{y,p} \cdot K_{y,z} \cdot K_{y,t} \cdot \sigma_{дбн} = 371.28 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{дбр} := \xi \cdot K_{y,p} \cdot K_{y,z} \cdot K_{y,t} \cdot \sigma_{дбн} = 501.228 \text{ МПа}$$

2.13.2 Усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения

Эффективная ширина плоской прокладки по формуле [25]

$$b_0 := 3.8 \cdot \sqrt{b_n} = 13.164 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр плоской прокладки по формуле [25]

$$D_{сп} := D_{нп} - b_0 = 343.836 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки по таблице И1 [25]

$$m := 2.5$$

$$q_{обж} := 20 \text{ МПа}$$

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

$$K_{обж} := 0.9$$

$$E_n := 0.02 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке по формуле [25]

$$P_{обж} := 0.5\pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 1.422 \times 10^5 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения по формуле [25]

$$R_n := 0$$

Т.к. аппарат работает под наруж. давлением

2.13.3 Усилия в шпильках фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях:

Площадь поперечного сечений шпилек для М20 по прил.Д [25]

$$f_6 := 225 \text{ мм}^2$$

Суммарная площадь сечения шпилек по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра по формуле [25]

$$A_6 := n \cdot f_6 = 2.7 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

					Механический расчет	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Равнодействующая нагрузка от давления по формуле [25]

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot P = 9.285 \times 10^3 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы по формуле [25]

$$Q_{\text{fm}} := F + \frac{4 \cdot M}{D_{\text{сп}}} = 0 \text{ Н}$$

2.12.4 Податливость прокладки и шпилек

Податливость прокладки по формуле К.1 [25]

$$y_{\text{п}} := \frac{h_{\text{п}} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\text{п}} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} = 2.083 \times 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек (измеряется по чертежу)

$$L_{60} := 100 \text{ мм}$$

Эффективная длина шпильки при определении податливости по стр.32 [25]

$$L_6 := L_{60} + 0.56 \cdot d = 111.2 \text{ мм}$$

Податливость болтов по формуле К.2 [25]

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} = 1.916 \times 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

2.13.5 Расчетные параметры и угловая податливость фланцев

- параметр длины обечайки по формуле К.3 [25]

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} = 49.719 \text{ мм}$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру по формуле К.4 [25]

$$K := \frac{D_{\text{н}}}{D} = 1.424$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца по формулам К.5 - К.8 [25]

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.742$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 6.226$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] = 5.714$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 2.946$$

					Механический расчет	Лист
						73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- коэффициенты для фланцевых соединений с плоской уплотнительной поверхностью по графикам К2-К4 [25]

$$\beta_F := 0.67$$

$$\beta_V := 0.12$$

$$f := 1.2$$

$$\beta := \frac{S_1}{S_0} = 2.625$$

$$x := \frac{1}{\sqrt{D \cdot S_0}} = 1.348$$

- коэффициент λ по формуле К.11 [25]

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 0.862$$

Угловая податливость фланца при затяжке по формуле К.12 [25]

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 2.001 \times 10^{-10} \frac{1}{\text{Н} \cdot \text{мм}}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками по формуле К.18 [25]

$$C_F := \max \left(1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right) = 1.079$$

Приведенный диаметр фланца с плоской уплотнительной поверхностью по формуле К.19 [25] при

$$D \geq 20 \cdot S_1$$

$$D_{\text{пр}} := D + S_0$$

2.13.6 Плечи действия сил и коэффициенты жесткости

Плечо действия усилий в шпильках для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.1 [25]

$$b := 0.5(D_6 - D_{\text{сп}}) = 28.082 \text{ мм}$$

Коэффициент ζ находим по формуле Е.6 [25]

$$\zeta := 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1.972$$

Эквивалентная толщина втулки фланцев по формуле Е.5 [25]

$$S_3 := \zeta \cdot S_0 \text{ мм}$$

					Механический расчет	Лист
						74
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев по формуле Е.4 [25]

$$e := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_3) = 9.532 \text{ мм}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев по формуле Е.8 [25]

$$\gamma := \frac{1}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} \cdot \frac{E_{206}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}} \cdot \frac{E_{20}}{E}} = 1.425 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, для приварных встык фланцев с плоскими прокладками по формуле Е.11 [25]

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\text{п}} - 2 \cdot e \cdot y_{\text{ф}} \cdot b}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}}} = 0.859$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях с приварными встык и плоскими фланцами по формуле [25]

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\text{ф}} \cdot h \cdot (t_{\text{ф}} - 20) - 2\alpha_{\text{б}} \cdot h \cdot (t_{\text{б}} - 20)] = 1.019 \times 10^4 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения

$$P_{61} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\text{п}} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\text{п}} - Q_t \end{array} \right] = 7.972 \times 10^3 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения шпилек

$$P_{62} := \max [(P_{\text{обж}}), 0.4 \cdot A_{\text{б}} \cdot \sigma_{206}] = 2.57 \times 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения по формуле [25]

$$P_{6\text{м}} := \max (P_{61}, P_{62}) = 2.57 \times 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях по формуле [25]

$$P_{6\text{р}} := P_{6\text{м}} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t = 2.685 \times 10^5 \text{ Н}$$

2.13.7 Проверка прочности шпилек и прокладки

Расчетные напряжения в шпильках

- при затяжке по формуле [25]

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6M}}{A_6} = 95.2 \text{ МПа}$$

- в рабочих условиях по формуле 20 [25]

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6P}}{A_6} = 99.462 \text{ МПа}$$

Проверка условий прочности шпилек при затяжке и в рабочих условиях по формулам [25]

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{д6M} \\ \text{"Условия в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{д6P} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{6M}, P_{6P})}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} = 20.717 \text{ МПа}$$

Условие прочности прокладки

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_2 = \text{"Условие прочности прокладки выполняется"}$$

2.13.8 Расчет фланцев на статическую прочность

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланец или плоский фланец при затяжке по формуле [25]

$$M_M := C_F \cdot P_{6M} \cdot b = 7.786 \times 10^6 \text{ Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях по формуле [25]

$$M_P := C_F \cdot \max[P_{6P} \cdot b + (Q_d) \cdot e, |Q_d| \cdot e] = 8.23 \times 10^6 \text{ Н*мм}$$

2.13.9 Расчетные напряжения во фланце при затяжке

- меридиональное изгибное напряжение во втулке фланца с плоской поверхностью по формулам [25]

для фланцев типа шип-паз с конической втулкой в сечении S_1

					Механический расчет	Лист
						76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\sigma_{1M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_1 - c_o)^2 \cdot D_{пр}} = 78.935 \text{ МПа}$$

для фланцев типа шип-паз с конической втулкой в сечении S_0

$$\sigma_{0M} := \sigma_{1M} \cdot f = 94.721 \text{ МПа}$$

- напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в условиях затяжки по формулам [25]

- радиальное напряжение

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M = 67.73 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} = 30.811 \text{ МПа}$$

2.13.10 Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях

- меридиональные изгибные напряжения для фланцев с плоской уплотнительной поверхностью с конической втулкой в сечении S_1 по формуле [25]

$$\sigma_{1p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_1 - c_o)^2 \cdot D_{пр}} = 83.436 \text{ МПа}$$

- меридиональные изгибные напряжения для фланцев с плоской уплотнительной поверхностью с конической втулкой в сечении S_0 по формуле [25]

$$\sigma_{0p} := \sigma_{1p} \cdot f = 100.123 \text{ МПа}$$

- меридиональные мембранные напряжения во втулке фланца с плоской уплотнительной поверхностью по формулам [25]

для фланцев с плоской уплотнительной поверхностью с конической втулкой в сечении S_1

$$\sigma_{P1MM} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_1) \cdot (S_1 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_1) \cdot (S_1 - c_o)} \right] = 0.471 \text{ МПа}$$

для фланцев с плоской уплотнительной поверхностью с конической втулкой в сечении S_0

$$\sigma_{P0MM} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_o)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_o)} \right] = 1.554 \text{ МПа}$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления во втулке фланца с плоской уплотнительной поверхностью в сечении S_0 вычисляют по формуле [25]

$$\sigma_{Ромо} := \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c_0)} = 2.575 \text{ МПа}$$

Напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в рабочих условиях:

- радиальное напряжение по формуле [25]

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p = 71.593 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение по формуле [25]

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} = 32.568 \text{ МПа}$$

2.13.11 Проверка условий статической прочности фланцев

Расчет производится по формулам 43 - 46 [25]

При расчете с учетом стесненности температурных деформаций.

$$K_T := 1.3$$

Допускаемое значение общих мембранных и изгибных напряжений и допускаемое значение суммарных общих и местных условных упругих мембранных и изгибных напряжений рассчитываем в соответствии с п.8.10 [25]

$$\sigma_{д.м} := 1.5 \cdot \sigma = 352.611 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д.Р} := 3 \cdot \sigma = 705.222 \text{ МПа}$$

Для фланцев с гладкой уплотнительной поверхностью с конической втулкой в сечении S_1

- в рабочих условиях

$$\sigma_{Pmax} := \max \left(\begin{array}{c} \left(\left| \sigma_{1p} - \sigma_{P1mm} + \sigma_{Rp} \right| \right) \\ \left(\left| \sigma_{1p} - \sigma_{P1mm} + \sigma_{Tp} \right| \right) \\ \left| \sigma_{1p} + \sigma_{P1mm} \right| \end{array} \right) = 154.558 \text{ МПа}$$

Проверка условий прочности в рабочих условиях в сечении S_1

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{Pmax} \leq 1.3 \cdot \sigma_{д.м} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

- при затяжке

$$\sigma_{Зmax} := \max \left(\left| \sigma_{1м} + \sigma_{Rм} \right|, \left| \sigma_{1м} + \sigma_{Тм} \right| \right) = 146.665 \text{ МПа}$$

					Механический расчет	Лист
						78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Проверка условий прочности при затяжке в сечении S_1

$Usl_1 :=$ $\begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{3max} \leq K_T \cdot \sigma_{д.м} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$

Для фланцев с гладкой уплотнительной поверхностью с конической втулкой в сечении S_0

- в рабочих условиях

$Q := |\sigma_{0p} - \sigma_{P0MM}|$
 $W := |\sigma_{0p} + \sigma_{P0MM}|$
 $e := |0.3 \cdot \sigma_{0p} - \sigma_{P0MO}|$
 $R := |0.3 \cdot \sigma_{0p} + \sigma_{P0MO}|$
 $T := |0.7 \cdot \sigma_{0p} - (\sigma_{P0MM} - \sigma_{P0MO})|$
 $Y := |0.7 \cdot \sigma_{0p} + (\sigma_{P0MM} - \sigma_{P0MO})|$
 $\sigma_{Pmax.3} := \max(Q, W, e, R, T, Y) = 101.677$

Проверка условий прочности в рабочих условиях в сечении S_0

$Usl_1 :=$ $\begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{Pmax.3} \leq 1.3 \cdot \sigma_{д.Р} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$

- при затяжке

Проверка условий прочности при затяжке в сечении S_0

$Usl_1 :=$ $\begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \sigma_{0M} \leq 1.3 \cdot \sigma_{д.Р} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$

Для фланцев всех типов в сечении S_0 должно выполняться условие по формуле [25]

Проверка условий для фланцев всех типов в сечении S_0

$Usl_1 :=$ $\begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{P0MO}|, |\sigma_{P0MM}|) \leq \sigma \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$

Для тарелок приварных встык фланцев должны выполняться условия:

- при затяжке по формуле [25]

Проверка условий для тарелок приварных встык фланцев при затяжке

$Usl_1 :=$ $\begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{RM}|, |\sigma_{TM}|) \leq K_T \cdot \sigma \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$

- в рабочих условиях по формуле 55 [25]

					Механический расчет	Лист
						79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Проверка условий для тарелок приварных встык фланцев в рабочих условиях

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{if } \max(|\sigma_{Rp}|, |\sigma_{Tp}|) \leq K_T \cdot \sigma \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$

2.13.12 Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца по формуле [25]

$$\Theta := M_p \cdot y_\phi \cdot \frac{E_{20}}{E} = 1.572 \times 10^{-3} \text{ рад}$$

Допустимый угол поворота фланца с гладкой уплотнительной поверхностью

$$\Theta_d := 0.006 \text{ рад}$$

так как

$$D \leq 400$$

$$Usl_P := \begin{cases} \text{"Условие при испытаниях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > 1.3 \cdot \Theta_d \\ \text{"Условие в рабочих условиях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > \Theta_d \\ \text{"Условие поворота фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_P = \text{"Условие поворота фланца выполняется"}$

2.13.13 Расчет элементов фланцевого соединения на малоцикловую усталость:

Поскольку имеются положительные результаты эксплуатации аналогичных элементов фланцевого соединения, приведенного в [18], при тех же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности, расчет на малоцикловую прочность по [25] не проводится.

В данном подразделе были произведены расчеты прочности фланцев, шпилек и прокладок, а также расчет герметичности фланцевого соединения. По произведенным расчетом можно сделать вывод, что конструкция фланцевого соединения отвечает критериям надежности.

2.14 Расчет массы аппарата. Подбор опор (позиция 6)

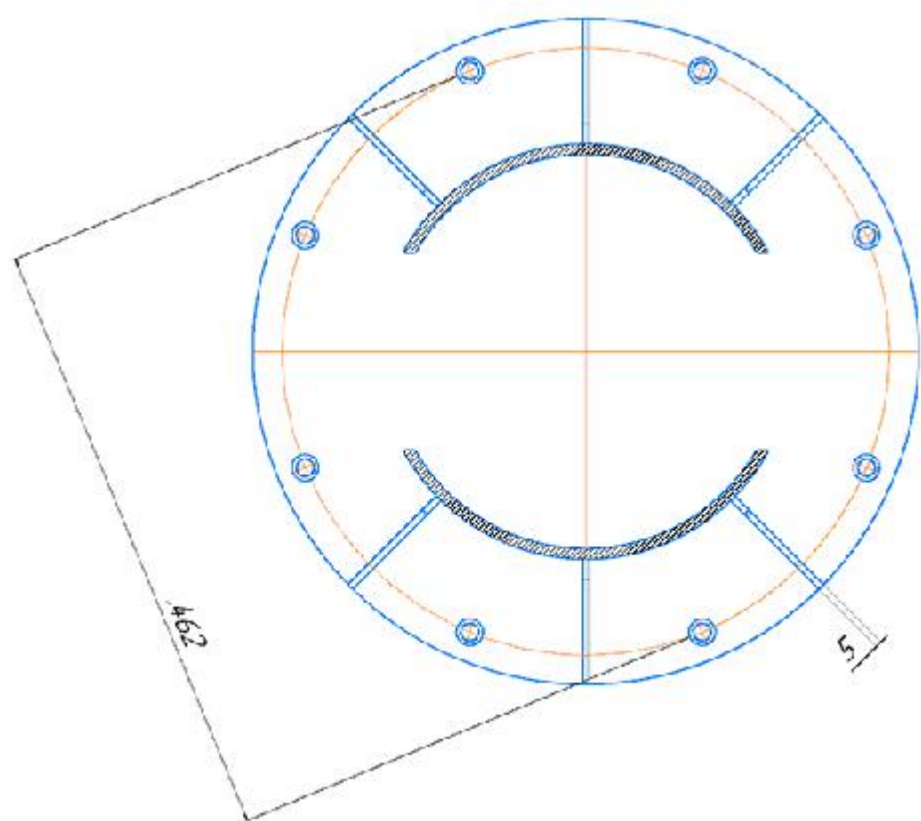


Рисунок 26 - Опора для аппарата [18]

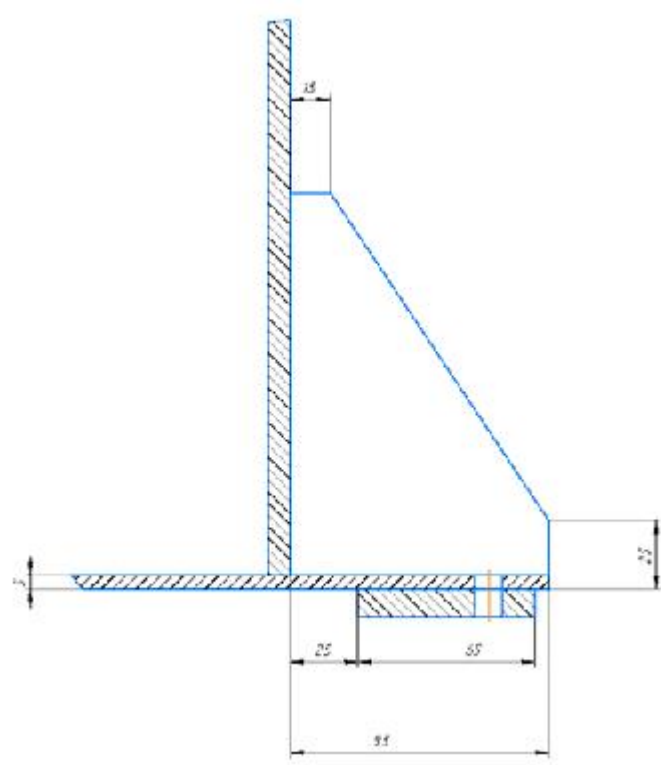


Рисунок 27 - Опора для аппарата [18]

Для подбора опорных лап необходимо определить максимальную массу аппарата, которая достигается при полном заполнении камеры. Полное заполнение происходит случаях, когда аппарат заполняется при гидроиспытаниях водой с плотность 1000 г/м³.

Исходя из вышенанписанного максимальная масса аппарата достигается при заполнении его водой.

Исходные данные:

Плотность воды, кг/м³:

$$\rho_{\text{ж}} := 1000$$

Ускорение свободного падения, м/с²:

$$g := 9.81$$

Плотность стали 12X18Н10Т, кг/м³:

$$\rho_{\text{сталь}} := 7920$$

Плотность органического стекла, кг/м³:

$$\rho_{\text{орг.стекло}} := 1180$$

Расчет массы обечайки взрывной камеры:

Обечайка состоит из листа металла 300x943x8 мм

Масса обечайки равна:

$$m_0 := 0.300 \cdot 0.943 \cdot 0.008 \cdot 7920 = 6.722 \text{ кг}$$

Расчет массы обечайки камеры подачи проволоки:

Обечайка состоит из листа металла 500x943x8 мм

$$m_1 := 0.391 \cdot 0.943 \cdot 0.008 \cdot 7920 = 8.761 \text{ кг}$$

Расчет массы обечайки камеры, где расположены электроды:

Обечайка состоит из листа металла 100x943x8 мм

$$m_2 := 0.1 \cdot 0.943 \cdot 0.008 \cdot 7920 = 2.241 \text{ кг}$$

Расчет массы фланцев определяем по таблице 21.9 [8]:

$$m_{\text{фл2}} := 18.7 \text{ кг}$$

фланец ГОСТ 1255-67

$$m_{\text{фл3}} := 4.39 \text{ кг}$$

фланец для окна ГОСТ 1255-67

$$m_{\text{фл}} := 6 \cdot m_{\text{фл2}} + m_{\text{фл3}} = 116.59 \text{ кг}$$

Расчет массы перегородки из стали

$$m_3 := 0.002 \cdot 0.015 + 0.002 \cdot 0.131 \cdot 0.138 \cdot 7920 = 0.286 \text{ кг}$$

Расчет массы 3 перегородок из орг. стекла:

$$m_4 := 2 \cdot 0.003534291 \cdot 1180 + 0.003746349 \cdot 1180 = 12.762 \text{ кг}$$

					Механический расчет	Лист
						82
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Расчет массы крышки:

Крышка для окна имеет размеры 280x280x10 мм

Масса крышки равна:

$$m_k := 0.280 \cdot 0.280 \cdot 0.01 \cdot 7920 = 6.209 \text{ кг}$$

Масса эллиптической крышки у колпака ГОСТ 6533-68:

$$m_3 := 3.1 \text{ кг}$$

Масса аппарата:

$$M_{\text{ап}} := m_0 + m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_k + m_{\text{фл}} + m_3 = 156.67 \text{ кг}$$

Масса воды в реакторе:

$$M_{\text{в}} := 0.02120575 \cdot \rho_{\text{ж}} = 21.206 \text{ кг}$$

Общая нагрузка на опоры:

$$G := (1.1 \cdot M_{\text{ап}} + M_{\text{в}}) \cdot g = 1899 \text{ Н}$$

Принимаем опорные лапы ОВ-I-Б-4000 ОН 26-01-69-68 по таблице 29.2 [8]

Вывод

Провели расчет толщины стенок обечаек (8 мм), перегородок из органического стекла (100 мм и 50 мм), эллиптической крышки (8 мм) и патрубков нашего аппарата (3,5 мм), проверили на прочность и устойчивость. А также произвели расчет фланцевого соединения и подобрали опоры для нашего аппарата, предварительно рассчитав массу.

					Механический расчет	Лист
						83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3 Социальная ответственность

Введение

В данном дипломном проекте разрабатывается аппарат электрического взрыва проводников в жидкой среде для получения суспензии, которая состоит из воды и частиц металлического нанопорошка.

Областью применения для данного аппарата являются лаборатории. Полученная суспензия поступает в мембранный фильтр, после которого на выходе получаем уже чистые частицы нанопорошка.

Одной из главных задач охраны труда является обеспечение безопасных условий труда для человека, т.е. должны быть созданы такие условия труда, при которых исключается воздействие на рабочих опасных и вредных производственных факторов. Уровни этих факторов не должны превышать предельных значений, оговоренных правовыми, техническими и санитарнотехническими нормами. Соблюдение правил и норм по безопасности жизнедеятельности позволяет улучшить и облегчить условия труда, обеспечить широкие возможности для высокопроизводительной работы.

3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из федеральных законов и других нормативных правовых актов субъектов РФ. Для реализации этих законов приняты Постановления Правительства РФ “О государственном надзоре и контроле за соблюдением законодательства РФ о труде и охране труда”, “О службе охраны труда”, “О Федеральной инспекции труда” и др. [33,34].

Для работников, занятых на работах с вредными или опасными условиями труда, законодатель установил сокращенную продолжительность рабочего времени - не более 36 часов в неделю (ст. 92 ТК РФ, п. 1 Постановления Правительства РФ от 20.11.2008 N 870). При этом максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать (ст. 94 ТК РФ): - при 36-часовой рабочей неделе - 8 часов; - при 30-часовой рабочей неделе и менее - 6 часов. Коллективным договором может быть предусмотрено увеличение смены при условии соблюдения предельной еженедельной продолжительности рабочего времени и гигиенических нормативов условий труда.

					ФЮРА ПАПС 000000 ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Выполнил	Барышников А.А.				Социальная ответственность			Лит.	Лист	Листов
Руковод.	.Ан В.В.								84	7
Конс.	.Скачкова Л.А.							ТПУ ИШНПТ		
Н. Контр.								НОЦ Н.М. Кижнера		
Руков. ООП	Беляев В.М.							Группа 4K51		

Также сотрудникам, занятым на работах с вредными или опасными условиями труда, положено предоставлять ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск продолжительностью не менее 7 календарных дней (ст. 117 ТК РФ, п. 1 Постановления N 870) [35].

3.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. В условиях работы, необходимо осуществление комплекса мер по предупреждению и уменьшению воздействия вредных производственных факторов. Для целостного представления обо всех вредных факторах, выявленных в процессе работы, составим таблицу 4. Выбор факторов производится с использованием ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [36].

Таблица 4 – Опасные и вредные факторы при монтаже и эксплуатации аппарата

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Превышение уровня шума	-	-	+	СанПиН 2.2.4.3359-16
2. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.3359-16
3. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	-	+	+	СанПиН 2.2.4.3359-16

3.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов

3.3.1 Состояние воздушной среды и микроклимата

Санитарные правила и нормы 2.2.4.548-96 устанавливают определённый микроклимат для всех типов рабочих помещений.

Вредными факторами при разработке и изготовлении является не соответствие оптимальных показателей микроклимата помещений, где происходят работы. Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21-23	40-60	0,1
Теплый	22-24	40-60	0,2

Разделяемая суспензия является безвредной, но взрыв проводника и подача суспензии на фильтр осуществляется аргоном под давлением. Аргон относится ко 2 классу опасности, вещества высокоопасные. Он нетоксичен и невзрывоопасен, однако представляет опасность для жизни. При его вдыхании мгновенно наступает потеря сознания и через несколько минут – смерть. Газообразный аргон тяжелее воздуха и может накапливаться в слабопрветриваемых помещениях у пола. При этом снижается содержание кислорода в воздухе, что приводит к кислородной недостаточности. [37,38]

3.3.2 Шумы и вибрации

Шум и вибрации могут неблагоприятно сказываться на организме человека и снижают производительность труда в среднем на 10-15%.

Шумы создаются в основном вентиляторами и работающим оборудованием. Чаще всего технически трудно снизить шум до малых уровней, поэтому при нормировании исходят не из оптимальных, а из терпимых условий. То есть таких, когда вредные действия шума не проявляется или проявляется незначительно.

Нормирование допустимых уровней звукового давления производится в соответствии с [36]. По данному ГОСТу уровень звука в производственных помещениях не должен превышать 85 дБА. Так как установка является экспериментальной нет точных данных по шуму производимым данной установкой. Для безопасности работающего с ней

					Социальная ответственность	Лист
						86
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

персонала необходимо предпринять мероприятия, описанные в разделе «Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов».

3.3.3 Электробезопасность

Электрический ток представляет собой опасность, о присутствии которой нельзя точно сказать (нет свечения, запаха, шума). В случае повреждения электроустановок, вокруг места повреждения возникает электрическое поле, опасное для жизни человека.

Особенно опасно прикосновение человека к токоведущим частям, находящимся под напряжением, вследствие теплового воздействия тока. Такое прикосновение может привести к серьезным внешним поражениям кожи (ожогам).

Раны от ожогов заживают очень долго, а при поражении 2/3 поверхности тела могут привести к смертельному исходу. Электроудар, при котором происходит прохождение тока через тело человека и поражается весь организм, представляет наибольшую опасность для человека. Возникают судороги, аритмия работы сердца и расстройство дыхания, что может привести к смерти. Степень опасности электроудара зависит от силы тока, проходящего через организм. При силе тока равной 1,5 мА, в месте контакта с токоведущими частями ощущается зуд и нагрев. Такую силу тока называют порогом ощущения [39].

Увеличение силы тока до 10 мА при переменном и до 50 мА при постоянном напряжении вызывает у человека сильные боли в пальцах и кистях рук, но человек еще может самостоятельно оторваться от токоведущих частей. Такая сила тока называется условно безопасной.

Дальнейшее увеличение от 10 мА до 100 мА при переменном и от 50 мА до 100 мА при постоянном напряжении вызывает очень сильные боли, парализацию рук, паралич дыхания и самостоятельно оторваться от токоведущих частей уже невозможно. При снижении сопротивления человеческого тела, сила тока постоянно возрастает и при достижении 100 мА наступает клиническая смерть [39].

3.4 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

Борьба с шумом и вибрацией ведется с помощью организационных и промышленных предприятий. Используются различные методы:

— Устранение причин шума и вибрации или их ослабление в источнике образования;

					Социальная ответственность	Лист
						87
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- Изоляция источников шума и вибраций средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- Жесткое крепление вибрирующих деталей и узлов;
- Противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- Профилактические медицинские мероприятия.

Что бы избежать вредного воздействия на людей электрического тока, необходимо разработать электробезопасность конструкций.

Основные способы и средства электрозащиты:

- Все работы, связанные с ремонтом электрической части оборудования, производить только электротехническому персоналу цеха;
- Все аппараты должны быть ограждены защитными перегородками;
- Корпуса электродвигателей и другого оборудования должны быть заземлены;
- Использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
- Предупредительная сигнализация и блокировки;
- Обеспечение обслуживающего персонала спецодеждой и средствами индивидуальной электрозащиты.

3.5 Экологическая безопасность

Работа с данной суспензией может оказать негативное влияние в случае гидросферу окружающей среды. Получаемым сырьем является нанопорошок. Отвод сточных вод при разделении порошка от воды необходим, при этом стоки можно использовать в процессе рекуперации для подогрева до небольших температур различных жидкостей, используемых в производстве.

3.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Цех, в котором осуществляется получение и разделение суспензии, не является пожаро- и взрывоопасным, однако помимо безопасности при чрезвычайных ситуациях рассмотрим пожарную безопасность.

Чрезвычайные ситуации (ЧС) - это совокупность обстоятельств, которые сопровождаются разрушениями, жертвами людей и причинению ущерба окружающей среде.

					Социальная ответственность	Лист
						88
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

К чрезвычайным ситуациям можно отнести: производственные аварии, стихийные бедствия, военные и социально-политические конфликты.

При условиях ЧС необходимо знать правила поведения, чтобы избежать паники и несчастных случаев.

При возникновении аварии необходимо отключить все электроприборы и рубильники.

Стихийные бедствия, такие как ураганы, наводнения и землетрясения, предотвратить нельзя, поэтому необходимо отключить электричество в здании и покинуть его или спуститься в подвальное помещение, если таковое имеется.

При возникновении военного или социально-политического конфликта необходимо эвакуировать всех людей из здания, согласно плану эвакуации или спуститься в подвальное помещение [40].

3.7 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность объекта обеспечивается рядом противопожарных мероприятий, предусмотренных в соответствии с [41].

Работники, обслуживающие промысел, обязаны пройти противопожарный инструктаж и занятия по пожарно-техническому минимуму.

При работе на производстве безопасность работающего персонала должна обеспечиваться:

- конструктивно-планировочным решением помещений, гарантирующим возможность осуществления быстрой эвакуации людей и ограничивающим распространение пожара;
- постоянным содержанием в надлежащем состоянии специального оборудования, способствующего успешной эвакуации людей в случае пожара (системы экстренного оповещения, аварийное освещение, знаки безопасности);
- ознакомлением всех работающих с основными требованиями пожарной безопасности и мерами личной предосторожности, которые необходимо соблюдать при возникновении пожара, а также планом эвакуации людей из помещения;
- установлением со стороны администрации систематического контроля за строжайшим соблюдением мер предосторожности при ремонтных работах, эксплуатации электроприборов, электроустановок и отопительных систем.

Для локализации и ликвидации пожара должны использоваться стационарные средства пожаротушения.

					Социальная ответственность	Лист
						89
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Размещение оборудования противопожарного водоснабжения и пожаротушения на площадке цеха выполнено согласно требованиям [41].

На объекте предусмотрено применение оборудования пенного и порошкового пожаротушения, а также первичных средств пожаротушения.

3.8 Первичные средства пожаротушения, немеханизированный пожарный инструмент и инвентарь

К первичным средствам пожаротушения относятся:

- огнетушители, песок (в ящике), вода (объемом 0,2 м³ и/или 0,02 м³);
- асбестовое полотно, грубошерстная ткань или войлок (кошма, покрывало из негорючего материала).

К немеханизированному пожарному инструменту и инвентарю относятся:

- комплект для резки электропроводов (ножницы, диэлектрические боты);
- лом, багор, крюк с деревянной ручкой, ведро, лопаты.

Определение необходимого количества первичных средств пожаротушения для защиты зданий и сооружений выполнено по Приложению 6 Правил противопожарного режима в Российской Федерации, с учетом данных Приложений 6 [41].

Вывод

Таким образом, был проведен анализ выявленных вредных и опасных факторов, а также обоснование мероприятий по снижению их воздействия. Также был проведен анализ на воздействие среды аппарата на атмосферу и гидросферу. Были рассмотрены наиболее вероятные виды ЧС и способы их устранения.

					Социальная ответственность	Лист
						90
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Основными потребителями нанопорошков получаемых на разрабатываемой установке являются компании различных размеров, занимающиеся медициной, металлургией, электротехникой.

На основании этих критериев строится карта сегментирования рынка.

Таблица 6 - Карта сегментирования рынка услуг по разработке

		Медицина	Металлургия	Электротехника
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

Фирма А	
Фирма Б	
Фирма В	

На основании карты выбирают ниши на рынке не занятые конкурентами или где уровень конкуренции низок. Выбирают, как правило, два-три сегмента, на которые и направляют максимальные усилия и ресурсы предприятия. Как правило, выбирают сегменты со сходными характеристиками, которые будут формировать целевой рынок.

4.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Составление SWOT-анализа сводится к описанию сильных и слабых сторон рассчитанного аппарата, выявлению возможностей и опасностей для его реализации, которые проявились или же имеют все шансы возникнуть в процессе эксплуатации фильтра для разделения суспензии.

					ФЮРА ПАПС 000000 ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Выполнил		Барышников А.А.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение			Лит.	Лист	Листов	
Руковод.		Ан В.В.								91	16
Конс.		Криницына З.В.						ТПУ ИШНПТ			
Н. Контр.								НОЦ Н.М. Кижнера			
Рцков. ООП		Беляев В.М.						Группа 4К51			

Результаты SWOT-анализа представлять в табличной форме (табл. 1).

Таблица 7 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: 1. Экологичность технологии. 2. Более высокая производительность по сравнению с другими аппаратами 3. Наличие бюджетного финансирования за рубежом 4. Квалифицированный персонал. 5. Быстроразвивающаяся технология	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: 1.Отсутствие идентичного прототипа аппарата 2. Отсутствие интереса данной технологии в России 3.Сложность интегрирования аппарата в промышленности 4. Сложность в проведение опытов, связанных с расчетами на взрыв и давление взрывной волны аппарата 5. Недостаточно данных для полного проектирования аппарата.
Возможности: 1. Большой спрос на международных рынках 2. Сильное развитие электроники 3. Быстроразвивающееся направление в сфере 3D принтеров по металлу 4. Конечный продукт пользуется популярностью в фармацевтической промышленности 5. Несовершенная работа конкурентных разработок	Стратегия (SO) 1. Разработка стратегии, направленная на зарубежных покупателей 2. Создание новых материалов с помощью аппарата получения суспензии методом ЭВП	Стратегия (WO) 1. Заинтересовать уникальностью аппарата российских производителей нанопорошков 2. На основе научно-исследовательского проекта создать полностью промышленную установку 3. Создание имиджа своего аппарата

Продолжение таблицы 7

Угрозы:	Стратегия (ST)	Стратегия (WT)
<p>1. Отсутствие спроса на новые технологии производства на отечественных рынках</p> <p>2. Развитая конкуренция технологий производства за рубежом</p> <p>3. Проблема финансирования в России</p>	<p>1. Разработка программы продвижения товара, используя возможности выхода на зарубежные рынки</p> <p>2. Создания стратегии продвижения продукта на отечественных рынках</p> <p>3. За счет качества и большой производительности установки найти финансирование у отечественных производителей нанопорошков и 3D принтеров</p>	<p>1. Повысить спрос установки за счет простоты изготовления и уникальности получаемого продукта</p> <p>2. Повысить спрос продукта за рубежом, чтобы тем самым заинтересовать отечественных инвесторов</p> <p>3. Дальнейшее усовершенствование и проектирование аппарата для промышленных масштабов производства</p>

4.3 Планирование научно-исследовательских работ. Структура работ в рамках научного исследования

Для оценки затрат на проект необходимо знать перечень выполнения работ по проекту. Анализируя это составим таблицу для наглядности. В таблице 8 представлены все виды выполняемых работ и исполнители работы необходимой для выполнения проекта.

Таблица 8 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель, инженер
	3	Выбор направления исследований	Научный руководитель, инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, инженер
Разработка технической документации и проектирование	5	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Инженер
	6	Расчет аппарата получения суспензии методом ЭВП	Инженер
	7	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Инженер
Оформление отчета по НИР	8	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

4.4. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5},$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{\text{Ч}_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

Ч_i – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.5 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения таблицы, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

					Финансовый менеджмент	Лист
						95
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (табл. 9).

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях (T_{pi})	Длительность работ в календарных днях (T_{ki})	
	tmin, чел-дни	tmax, чел-дни	тожд, чел-дни				
Составление ТЗ	1	2	1,4	Руководитель	0,7	1,026104418	2
				Инженер			
Изучение литературы	1	2	1,4	Инженер	1,4	2,052208835	3
Патентный поиск	9	11	9,8	Инженер	9,8	14,36546185	15
Календарное планирование работ	2	4	2,8	Руководитель	1,4	2,052208835	3
				Инженер			
Разработка технической документации и проектирование	7	16	10,6	Инженер	10,6	15,53815261	16
Оформление документации	2	5	3,2	Инженер	3,2	4,690763052	5

Анализируя перечень работ и оценки их выполнения, составим график проведения НИР, который представлен в таблице 9.

График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе табл. 10 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

					Финансовый менеджмент	Лист
						96
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 10 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

[illegible]

4.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- накладные расходы.

4.7 Расчет материальных затрат НТИ

В данной работе под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на программное обеспечение необходимое для проведения расчетов, построения чертежей проекта, написания соответствующей документации.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 11.

Таблица 11 - Материальные затраты, необходимые для данной разработки

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб	Общая стоимость оборудования, тыс. руб
1	ПО Microsoft office	1	10.200	10.200
2	Mathcad Application	1	30.000	30.000
3	КОМПАС 3D	1	32.900	32.900
Итого				73100

4.8 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

					Финансовый менеджмент	Лист
						98
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 8);

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d},$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 6).

Таблица 12 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное количество дней	365	365
Количество нерабочих дней(выходные, праздничные дни):	44 14	48 14
Издержки рабочего времени: Отпуск	56	28
невыходы по болезни	3	2
Действительный фонд рабочего времени	248	273

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{\text{тс}}$);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 13 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Зок, руб.	к _р	к _{пр}	Зм, руб.	Здн, руб	Тр, раб.дн.	Зосн, руб.
Руководитель	33664	1.3	1.3	56892,16	2385,8	4	9543,2
Инженер	25600			43264	1774,9	69	117143,4
	Итого						126686,6

4.9 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Для руководителя дополнительная заработная плата будет равна:
 $З_{\text{доп}} = 10760,8 \cdot 0,12 = 1291,3$ руб.

Для инженера дополнительная заработная плата равна: $З_{\text{доп}} = 90279,6 \cdot 0,12 = 10833,6$ руб.

4.10 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (табл. 14).

Таблица 14 - Отчисления во внебюджетные фонды

Участник	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	9543,2	1145,2
Инженер-дипломник	117143,4	14057,2
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	
Итого, руб.	руководитель: 2896,6; дипломник: 35555,4	
В сумме	38452руб.	

4.11 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 15.

Таблица 15 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	73100	Табл.5
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	-	-
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	126686,6	Табл.7
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	14057,2	
5. Отчисления во внебюджетные фонды	38452	Табл. 8
6. Затраты на научные и производственные командировки	-	-
7. Контрагентские расходы	-	-
8. Накладные расходы	40367,3	16 % от суммы ст. 1-7
9. Бюджет затрат НТИ	292663,1	Сумма ст. 1- 8

4.12 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Так как аналогов данного аппарата не существует, то мы можем посчитать металлоемкость аппарата и его составляющие:

Таблица 16 – Металлоемкость аппарата

Наименование		кол-во	цена за шт/кг (руб)	сумма (руб)
Труба				
	300X300X10 12x18н10т	3	493	1479
	150X150X3 12x18н10т	1	487	487
	21X100X2 12x18н10т	2	430	860
	76X100X2 12x18н10т	2	450	900
Орг. Стекло		3	500	1500
Фланец				
	300x325 12x18н10т	6	6183	37098

Продолжение таблицы 16

	150x159 12x18н10т	2	2158	4316
Штанга				
	M20x1000 DIN 975	8	2720	21760
Шпилька				
	M16x1000 DIN 975	7	300	2100
	M5x1000 DIN 975	1	38	38
	M2x1000 DIN 975	1	33	33
Шайба				
	20Л	100	127	12700
	16Л	100	85	8500
	5Л	100	30	3000
	2Л	100	12	1200
Гайка				
	M20-6H	48	12	576
	M16-6H	16	6	96
	M5-6H	2	4	8
	M2-6H	4	3,5	14
Лист				
	1500x4000x10 12x18н10т	1	267	41862
Прокладка	320X357X2 резина	12	53,5	642
	150X159X2 резина	1	40,3	40,3
Конденсатор		6	83340	500040
Электроды		3	20000	60000
ilmvac mp (r) 030 z		1	59500	59500
БКО 50-5		1	1470	1470
X2/30-Р-СД		1	79600	79600
Сумма установки составляет, руб:				
770110,6				

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

					Финансовый менеджмент	Лист
						103
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 10). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{699249,3}{1000000} = 0,69$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 17).

					Финансовый менеджмент	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		,

Таблица 17 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1
1. Экологичность	0,3	8
2. Удобство в эксплуатации	0,15	8
3. Универсальность	0,2	9
4. Надежность	0,2	8
5. Материалоемкость	0,15	5
ИТОГО	1	7,75

$$I_{p-исп1} = 8 \cdot 0,3 + 8 \cdot 0,15 + 9 \cdot 0,2 + 8 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 = 7,75$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

($I_{исп.1}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

Таблица 18 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,69
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	7,75
3	Интегральный показатель эффективности	11,23

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Вывод:

В данном разделе рассчитали металлоемкость аппарата, определили показатели эффективность разработки и бюджета затрат НТИ. Провели анализ слабых и сильных сторон проекта.

					Финансовый менеджмент	Лист
						106
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Заключение

В ходе работы был произведен технологический, механический, конструктивный и гидравлический расчеты аппарата. В технологическом определили важные параметры аппарата такие как: давление взрывной волны, изменение температуры жидкости после одного рабочего цикла, провели материальный баланс, выбрали насосы и редуктор для аппарата, произвели подбор патрубков.

В механическом расчете провели расчет толщины обечайки, эллиптической крышки, патрубков, перегородок из органического стекла. Рассчитали фланцевые соединения и выбрали опоры для нашего аппарата.

В разделе “Социальная ответственность” рассмотрели мероприятия по безопасному проведению технологического процесса. А также описали мероприятия по предотвращению опасного воздействия на окружающую среду и человека.

В разделе “Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение” произвели оценку рентабельности нашего проекта, проанализировав слабые и сильные стороны. Рассчитали металлоемкость самого аппарата.

Список публикаций

СПИСОК

опубликованных и приравненных к ним научных
и учебно-методических работ

№ п/п	Наименование работы, ее вид	Форма работы	Выходные данные	Объем работы, с.	Соавторы
научные работы					
1	Исследование возможности нанесения медных порошков на сталь 12Х18Н10Т и фторопласт-4.	печатный	Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XIX Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых ученых/Томский политехнический университет. – Томск: Изд- во Томского политехнического университета, 2018. – С.147-148.	2	Мартемьяно в Д.В., Плотников Е.В.
2	Получение металлических нанопорошков методом электрического взрыва проводника.	печатный	Химические технологии функциональных материалов: материалы V Международной Российско-Казахстанской научно-практической конференции, посвященной 85-летию Казахского национального университета аль-Фараби/– Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – С.87-90.	3	Титов М.Н.
3	Получение сплава Fe-Co методом электрического взрыва проводника.	печатный	Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XIX Международной научно- практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых ученых/Томский политехнический университет. – Томск: Изд- во Томского политехнического университета, 2019. – С.35.	2	Титов М.Н.

Список литературы

1. Степанченко, А. Е. Электрический взрыв проводника, как способ получения нанопорошков сплавов металлов/А. Е. Степанченко –Томск: 2014, – 60 с.
2. Котов, Ю.А. Исследование частиц, образующихся приэлектрическом взрыве проводников /Ю.А. Котов, Н.А. Яворовский//Физика и химия обработки материалов. – 1978. – № 4. – С. 24–29.
3. Q. Zhou, Q. Zhang, J. Zhang, J. Zhao, L. Pang and B. Ren, "Effect of Circuit Parameters and Wire Properties on Exploding a Copper Wire in Water," in IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 39, no. 7, 2011, pp. 1606-1612.
4. Назаренко О. Б. Влияние условий синтеза на свойства электровзрывных нанопорошков карбидов металлов //О. Б. Назаренко// Томск - 2003.- 5 с.
5. Пат. 2342972 Российской Федерации МПК В01D 39/00, В82В 3/00. Способ получения фильтрующего материала /Яворовский Н.А., Власов В.А., Шиян Л.Н., Чен Бен-Нам. № 2007138281, заявл. 15.10.2007, опубл. 10.01.2009.
6. Kwon, Y. S., Ilyin, A. P., Nazarenko, O. B., Root, L. O., Tikhonov, D. V., & Startseva, E. V. (2011). Characterization of nanopowders produced by electrical explosion of titanium wires. В Proceedings of the 6th International Forum on Strategic Technology, IFOST, 2011. - vol 1, pp. 52-54
7. Грязнова Е. Н. Технология получения модифицированного ионами марганца (II) оксигидроксида алюминия нановолокнистой структуры и материалов на его основе: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/ Е. Н. Грязнова - Томск:Изд – во Томского политехнического университета, 2015. - 153 с.
8. Гасанов, И.С., Особенности электрического взрыва проводников жидкости/И.С. Гасанов, Э.К. Гусейнов, В.М. Салманов, А.А. Агаева //Проблемы энергетики. – 2003. № 5.– С.30-35.
9. Кортхонджия, В.П. О природе импульсного давления, создаваемого взрывом проволоки в воде./ Кортхонджия В.П., Мдивнишвили М.О., Саралидзе З.К.//Тбилиси - 2005. - 43 с.
10. Лоскутов, С.В. Оценка параметров процесса электрического взрыва проводников в жидкости/С. В. Лоскутов, А. В. Ершов, С. В. Сейдаметов // Вісник двигунобудування. – 2011. – 74 с.

11. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии/К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – 9-е изд. – Л.: Химия, 1981. – 560 с.4

12. https://predklapan.ru/products/kislородnyj_reduktor_bko505

13. <http://evtec.ru/ilmvac-mp-r-030-z>

14. АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования. - М.: Минтяжмаш СССР, 1990. - 46 с.

15. ГОСТ 5949-75 Сталь сортовая и калиброванная коррозионно-стойкая, жаростойкая и жаропрочная, 1977. – 24 с

16. ГОСТ Р 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. - М.: Изд-во стандартов, 2007. – 26 с.

17.ГОСТ Р 34233.2.–2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек. - М.: Изд-во стандартов, 2007. – 44 с.

18.Лашинский, А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник./А.А. Лашинский, А.Р. Толчинский. – 3-е изд., стереотипное. – М.: ООО ИД «Альянс», 2008. – 752 с

19. Беляев, В.М. Конструирование и расчёт элементов оборудования отрасли. Ч.1.: Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств/ В.М.Беляев, В.М.Миронов – Томск: Изд – во Томского политехнического университета, 2011. – 300 с.

20. ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент – М.: Стандартиформ, 2007. – 21 с.

21.ГОСТ 32569-2013. Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах. - М.: Стандартиформ, 2017. -131 с.

22. ГОСТ 19903–74 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент- М.:Стандартиформ, 1986. – 21 с.

23. ГОСТ 15180-86. Прокладки плоские эластичные. Основные параметры и размеры. – М.: Стандартиформ, 1986. – 21 с.

24. ГОСТ 10667-90 Стекло органическое листовое. Технические условия, 1991. – 17 с.

25. ГОСТ Р 34233.4-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.. - М.: Стандартиформ, 2017. -30 с.

26. Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Ю. И. Дытнерский, Г. С. Борисов, В. П. Брыков. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.:Химия, 1991. — 496 с.

27.ГОСТ Р 34233.6-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках. - М.: Стандартиформ, 2017. -19 с.

28.ГОСТ Р 51274 - 99. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность. М.: Изд-во стандартов, 1999.-16 с.

29.ГОСТ 24379.0-2012. Болты фундаментальные. Общие технические условия. М.: Стандартиформ, 2012.-11 с.

30.ГОСТ 6533-78*. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры. М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 78. - 26 с.

31.ГОСТ Р 34233.3-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер. - М.: Стандартиформ, 2017. - 41 с.

32.Бобков А.С. Охрана труда и экологическая безопасность в химической промышленности. /А.С.Бобков, А.А.Блинов, И.А.Роздин., Е.И.Хабарова. –М.:Химия, 1998. –400с.

33."Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019). Статья 354. Федеральная инспекция труда.

34.Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации [Текст]: от 30.12. 2001 г. № 197-ФЗ, ввод в действие с 01.02.2002 / Российская Федерация. Законы. — Волгоград; М.: Изд-во ВолГУ: Либрис, 2002. — 225 с.

35.ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация[Текст]. – Сб. ГОСТов. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. - 4с.

36.ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1)

37.Argon – Ar. Chemical properties of argon - Health effects of argon - Environmental effects of argon. URL:<https://www.lenntech.com/periodic/elements/ar.htm> (дата обращения 02. 04. 2019)

38.Производство и реализация технических газов и криогенных жидкостей. URL: <http://www.argon35.ru/> (дата обращения 05. 04. 2019)

39.Кораблев В. П. Меры электробезопасности в химической промышленности. / В. П. В. П. – М.:Химия, 1983. – 175 с.

40.Российская Федерация. Законы. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ.

41.Российская Федерация. Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ.

42.СП 9.13130.2009 Техника пожарная. ОГнетушители. Требования к эксплуатации.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание
				<u>Документация</u>		
A4			ФЮРА ПАПС 000000 ПЗ	Расчетно-пояснительная записка	121	
A0			ФЮРА ПАПС 000001 ВО	Вид обций	1	
A0			ФЮРА ПАПС 000002 ВО	Вид обций	1	
A0			ФЮРА ПАПС 000001 СБ	Аппарат подачи проволоки	1	
A0			ФЮРА ПАПС 000002 СБ	Сборочный чертеж	1	
A2			ФЮРА ПАПС 000003 СБ	Опора	1	
A2			ФЮРА ПАПС 000000 СТ	Схема технологическая	1	
A2			ФЮРА ПАПС 000000 ЭП	Экономические показатели	1	
				<u>Сборочные единицы</u>		
		1	ФЮРА ПАПС 000001	Аппарат подачи проволоки	1	
		2	ФЮРА ПАПС 000002	Заземление	1	12Х18Н10Т
		3	ФЮРА ПАПС 000003	Крышка эллиптическая	1	12Х18Н10Т
		4	ФЮРА ПАПС 000004	Опора	1	12Х18Н10Т
				<u>Детали</u>		
		5	ФЮРА ПАПС 000005	Муфта	4	Текстолит А
		6	ФЮРА ПАПС 000006	Отбойник	1	12Х18Н10Т
		7	ФЮРА ПАПС 000007	Плоское кольцо	1	12Х18Н10Т
		8	ФЮРА ПАПС 000008	Прокладка специальная	3	Паронит
		9	ФЮРА ПАПС 000009	Перегородка	3	Стекло органическое
		10	ФЮРА ПАПС 000010	Пластина	1	Текстолит А
		11	ФЮРА ПАПС 000011	Смотровое окно	1	Стекло органическое
		12	ФЮРА ПАПС 000012	Стержень	2	12Х18Н10Т
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата	ФЮРА ПАПС 000000	
Разраб.	Барышников А.					
Руковод	Ан В.В.				Проект аппарата для получения суспензий методом электрического взрыва проводников	
Конс.	Ан В.В.					
Н.Контр						
Руков. ООП	Беляев В.М.					
					Лит	Лист
					Д	1
						Листов
						3
					ТПУ ИШНПТ	
					НОЦ Н.М. Кижнера	
					Группа 4К51	

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание
		13	ФЮРА ПАПС 000013	Электрод	2	12X18H10T
		14	ФЮРА ПАПС 000014	Электрод заземленный	1	12X18H10T
		15	ФЮРА ПАПС 000015	Электрод разрядник	3	12X18H10T
				<u>Стандартные изделия</u>		
		16		Обечайка	5	12X18H10T
				Гайки ГОСТ 15522-70		
		17		M20-6H	68	12X18H10T
		18		M10-6H	4	12X18H10T
				Гайка ГОСТ 5916-70		
		19		M5-6H	4	12X18H10T
				Гайки ГОСТ ISO 7719		
		20		M10	5	12X18H10T
				Шайбы ГОСТ 6402-70		
		21		20Л	68	Л63
		22		10Л	7	Л63
				Шайбы ГОСТ 10450-78		
		23		A 10.37	7	Л63
		24		A 5.37	4	Л63
				Шпильки ГОСТ 22042-76		
		25		M20-6gx180	24	25X1MФ
		26		M20-gx110	4	25X1MФ
		27		M10-gx35	4	25X1MФ
		28		M20-gx90	8	25X1MФ
		29		M10-gx100	2	25X1MФ
		30		M10-6gx50	1	25X1MФ
		31		M5-6gx16	2	25X1MФ
				Патрубки		
		32		38x3,5	2	12X18H10T
		33		150x6	1	12X18H10T
		34		32x3,5	2	12X18H10T
				Прокладки ГОСТ 15180-86		
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата	ФЮРА ПАПС 000000 <div> <div>Лист</div> <div>2</div> </div>	

[illegible]